Л. А. Исаченкова, В. В. Дорофейчик,
Е. В. Захаревич, Г. В. Пальчик

Сборник задач по физике

7–9 классы

9 класс

Аверсэв

Сборник задач по физике

9 класс

Пособие для учащихся учреждений
общего среднего образования
с русским языком обучения

Рекомендовано
Научно-методическим учреждением
«Национальный институт образования»
Министерства образования
Республики Беларусь

4-е издание

Минск
Аверсэв
2025

УДК 53(075.3=161.1)
ББК 22.3я721
С23

Авторы:
Л. А. Исаченкова, В. В. Дорофейчик, Е. В. Захаревич, Г. В. Пальчик

Рецензенты:
каф. физики и методики преподавания физики учреждения образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка» (канд. физ.-мат. наук, доц. ***О. Н. Белая***)

учитель физики высш. квалификац. категории гос. учреждения образования «Средняя школа № 154 г. Минска» ***Н. А. Полудеткина***

Сборник задач по физике. 9 класс : пособие для учащихся
С23 учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения / Л. А. Исаченкова [и др.]. — 4-е изд. — Минск : Аверсэв, 2025. — 240 с. : ил.

ISBN 978-985-19-8488-2.

Сборник является частью учебно-методического комплекса по физике для 9 класса. Задачи в нем расположены в соответствии со структурой учебного пособия «Физика 9». Сборник содержит все виды задач различных уровней сложности, а также ответы к количественным задачам.

Адресуется учащимся 9 класса учреждений общего среднего образования.

УДК 53(075.3=161.1)
ББК 22.3я721

Учебное издание

Исаченкова Лариса Артемовна
Дорофейчик Владимир Владимирович
Захаревич Екатерина Васильевна
Пальчик Геннадий Владимирович

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ. 9 КЛАСС

Пособие для учащихся учреждений общего среднего образования с русским языком обучения

4-е издание

Ответственный редактор *Е. В. Громыко*
Редакционно-издательская подготовка:
О. Л. Диброва, Ю. А. Оверченко, И. С. Амельченя, Е. В. Прудывус
Дизайнер *А. А. Барбук*
Изображения используются по лицензии Shutterstock.com

Подписано в печать 29.10.2024. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага типографская.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,95. Уч.-изд. л. 10,11. Тираж 2100 экз. Заказ

Общество с дополнительной ответственностью «Аверсэв».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/15 от 02.08.2013. Ул. П. Олешева, 1, офис 309, 220090, г. Минск.
E-mail: info@aversev.by; www.aversev.by
Контактные телефоны: (017) 378-00-00, 379-00-00. Для писем: а/я 3, 220090, г. Минск.

Унитарное полиграфическое предприятие «Витебская областная типография».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 2/19 от 26.11.2013. Ул. Щербакова-Набережная, 4, 210015, г. Витебск.

ISBN 978-985-19-8488-2

© Оформление. ОДО «Аверсэв», 2021

© MICHAEL GAUTIER

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 5

Основы кинематики

1. Векторы. Действия над векторами. Проекция вектора на ось.....8
2. Механическое движение. Относительность движения. Система отсчета.....14
3. Путь и перемещение 16
4. Равномерное прямолинейное движение. Скорость.....19
5. Неравномерное движение. Средняя и мгновенная скорость.....31
6. Сложение скоростей 38
7. Равнопеременное движение.....46
8. Криволинейное движение 66

Основы динамики

9. Сила.....74
10. Законы Ньютона.....78
11. Сила упругости 87
12. Сила трения.....90
13. Закон всемирного тяготения.....96
14. Свободное падение тел 101
15. Динамика движения материальной точки по окружности..... 110
16. Динамика движения связанных тел 117
17. Динамика движения по наклонной плоскости 120

Основы статики

18. Равновесие твердых тел. Простые механизмы..... 126
19. Действие жидкости и газа на погруженное в них тело. Закон Архимеда. Условия плавания тел 142

Законы сохранения

20. Импульс тела 154
21. Закон сохранения импульса 160
22. Механическая работа 166
23. Мощность..... 173

© MICHAEL GAUTIER

24. Потенциальная энергия 177
25. Кинетическая энергия 183
26. Закон сохранения механической энергии 188
27. Изменение механической энергии 197

Приложение 1. Задания, полезные для подготовки к участию в PISA 206

Приложение 2. Плотность твердых, жидких и газообразных веществ (при нормальном атмосферном давлении) 219

Приложение 3. Греческий алфавит 220

Приложение 4. Единицы измерения физических величин и приставки к ним 221

Ответы 222

© MICHAEL GAUTIER

Предисловие

Сборник является частью учебно-методического комплекса по физике для 9 класса учреждений общего среднего образования. В нем представлен набор задач разной степени сложности по всем темам учебной программы. Структура сборника повторяет структуру учебного пособия «Физика 9» авторов Л. А. Исаченковой, А. А. Сокольского, Е. В. Захаревич.

По каждой теме приводятся все виды задач пяти уровней сложности, что соответствует требованиям 10-балльной системы оценки знаний. Комбинированные задачи включают в себя задания повышенной сложности, отмеченные знаком « », и адресованы тем учащимся, которые стремятся к более глубокому изучению физики и готовятся к олимпиадам.

В приложении 1 содержатся задания, полезные для подготовки к участию в PISA. Благодаря им учащиеся познакомятся с формулировками задач и особенностями интерпретации изучаемого материала.

В приложениях 2—4 приводятся таблицы плотностей веществ в различных агрегатных состояниях, единицы измерения физических величин и приставки к ним, названия и обозначения букв греческого алфавита.

В конце сборника даются ответы к решению количественных задач. Для задач более высокой степени сложности ответы представлены в общем и числовом видах. Сами решения не приводятся. Это сделано сознательно, чтобы не обесценивать самостоятельный поиск учащихся готовым рецептом решения. В большинстве

© MICHAEL GAUTIER

случаев задачи рекомендуется решать в Международной системе единиц (СИ). Если в конечной формуле физические величины однородны, переводить их в единицы СИ необязательно. Коэффициент g во всех задачах сборника, если нет специальной оговорки, принят равным $10\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\left(10\,\frac{\text{Н}}{\text{кг}}\right)$.

© MICHAEL GAUTIER

1 Основы кинематики

1. Векторы. Действия над векторами. Проекция вектора на ось
2. Механическое движение. Относительность движения. Система отсчета
3. Путь и перемещение
4. Равномерное прямолинейное движение. Скорость
5. Неравномерное движение. Средняя и мгновенная скорости
6. Сложение скоростей
7. Равнопеременное движение
8. Криволинейное движение

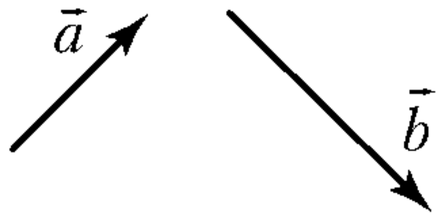
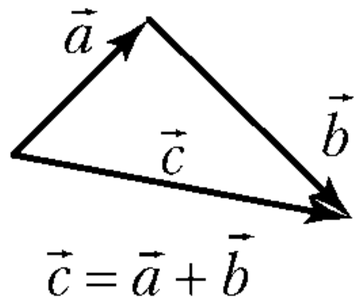
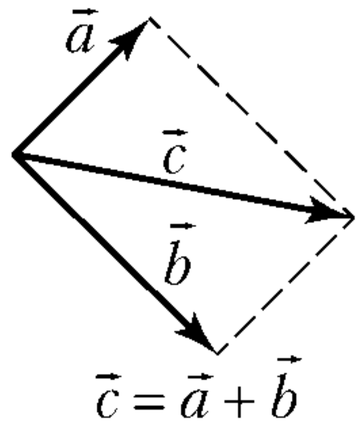
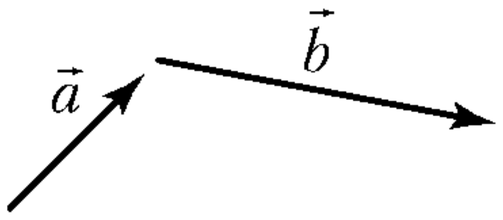
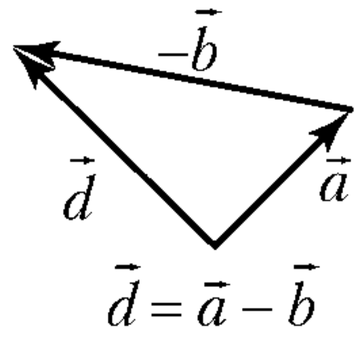
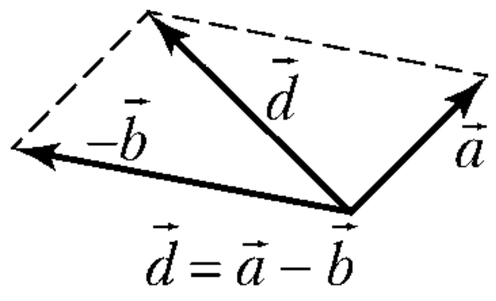
© MICHAEL GAUTIER

1

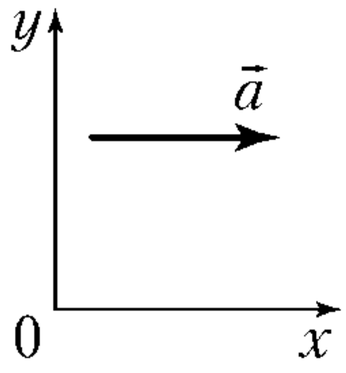
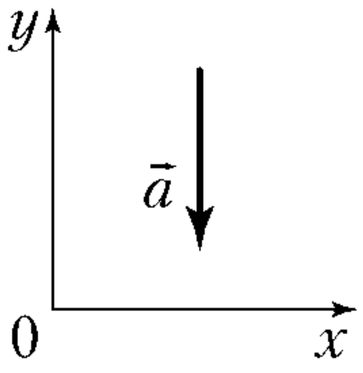
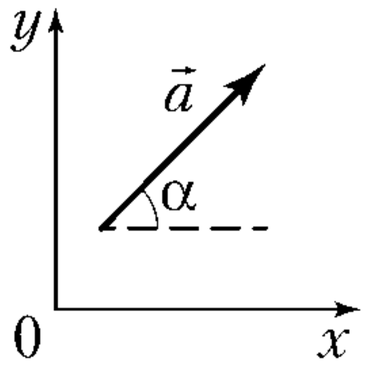
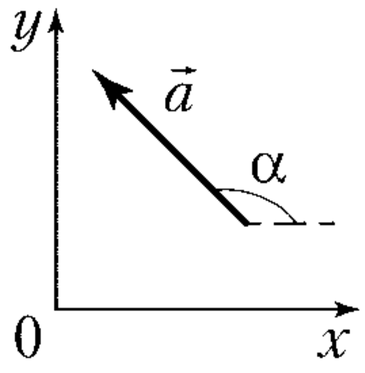
Векторы. Действия над векторами. Проекция вектора на ось

Векторные величины	характеризуются модулем и направлением	скорость $\vec{v}$; сила $\vec{F}$; вес $\vec{P}$ и др.
Скалярные величины	характеризуются только модулем	масса m; плотность ρ; энергия E; путь s и др.

Сложение и вычитание векторов

Действия с векторами	Векторы	Правило треугольника	Правило параллелограмма
Сложение векторов			
Вычитание векторов			

Проекция вектора на ось

Вектор				
Проекция вектора на ось	$a_x = a;$ $a_y = 0$	$a_x = 0;$ $a_y = -a$	$a_x = a\cos\alpha;$ $a_y = a\sin\alpha$	$a_x = a\cos\alpha < 0;$ $a_y = a\sin\alpha > 0$

© MICHAEL GAUTIER

1. Какие из векторов (рис. 1) являются: а) одинаково направленными; б) противоположно направленными; в) равными?

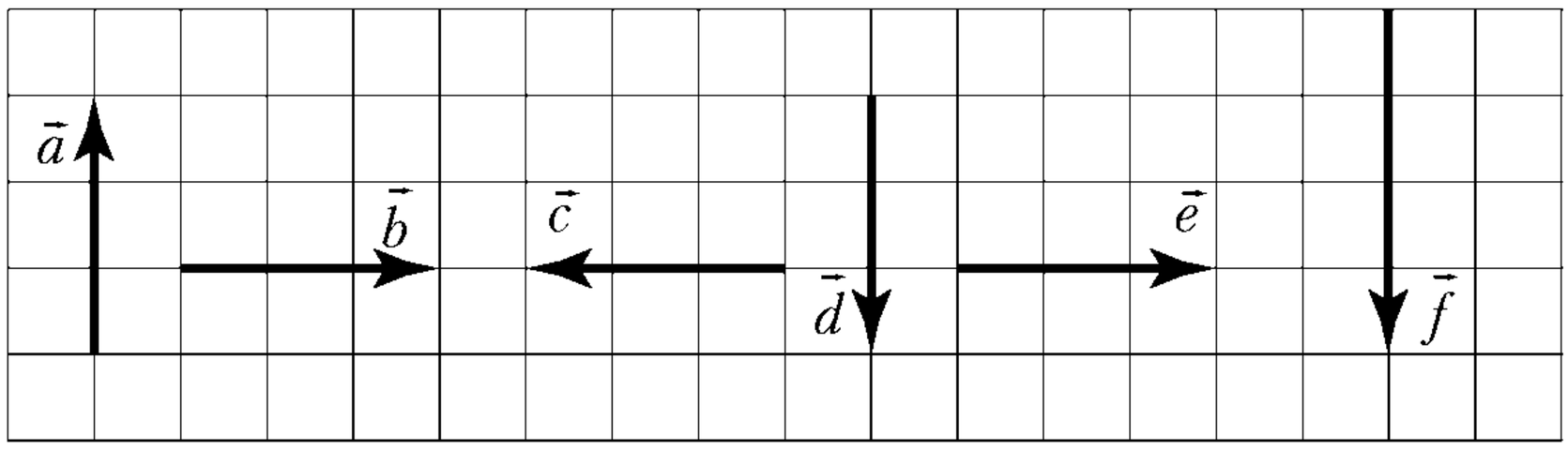


Рис. 1

2. Модули векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ одинаковы. Вектор $\vec{a}$ параллелен оси Ox, вектор $\vec{b}$ направлен под углом $\alpha = 30°$ к этой оси. Являются ли эти векторы равными? Почему?

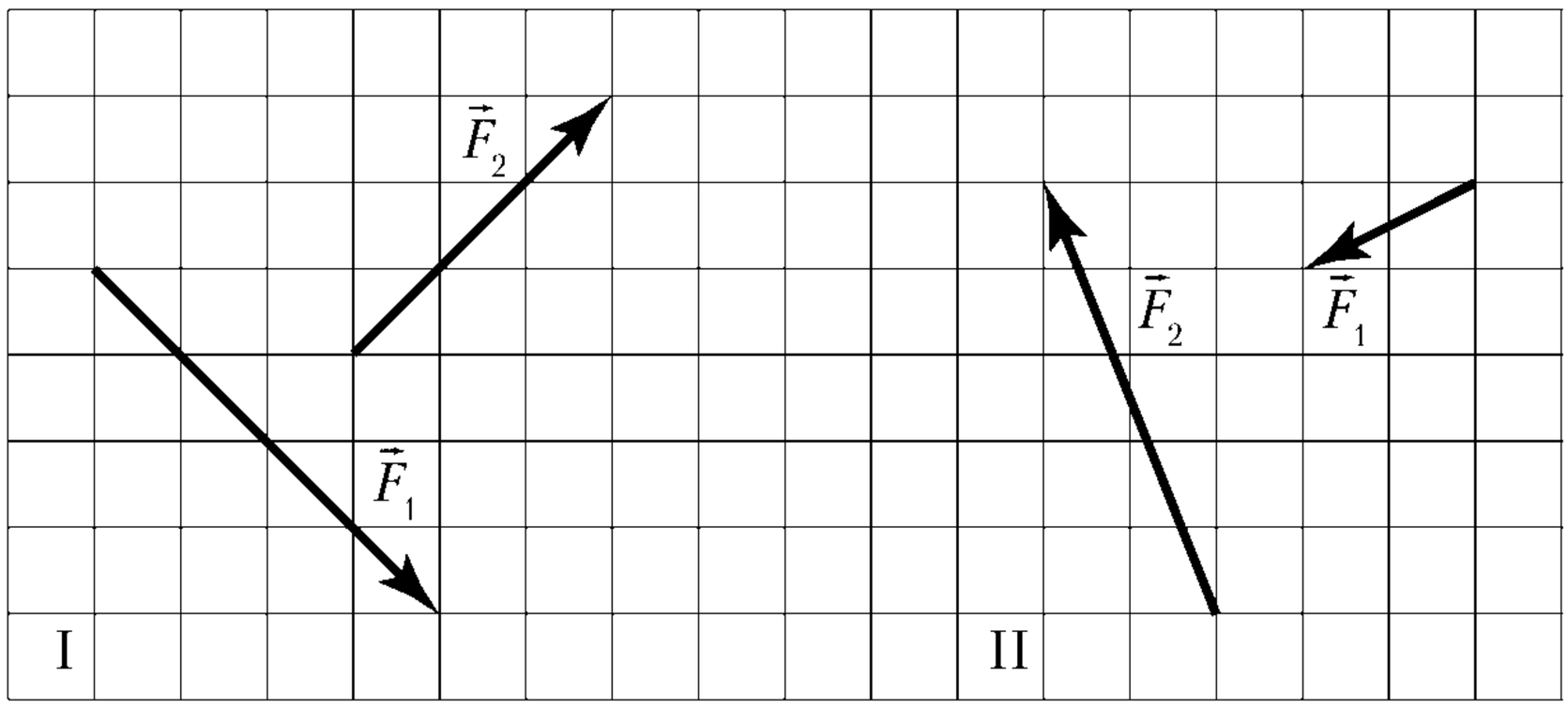


Рис. 2

3. Постройте вектор суммы векторов сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, представленных на рисунке 2 в случаях I и II.

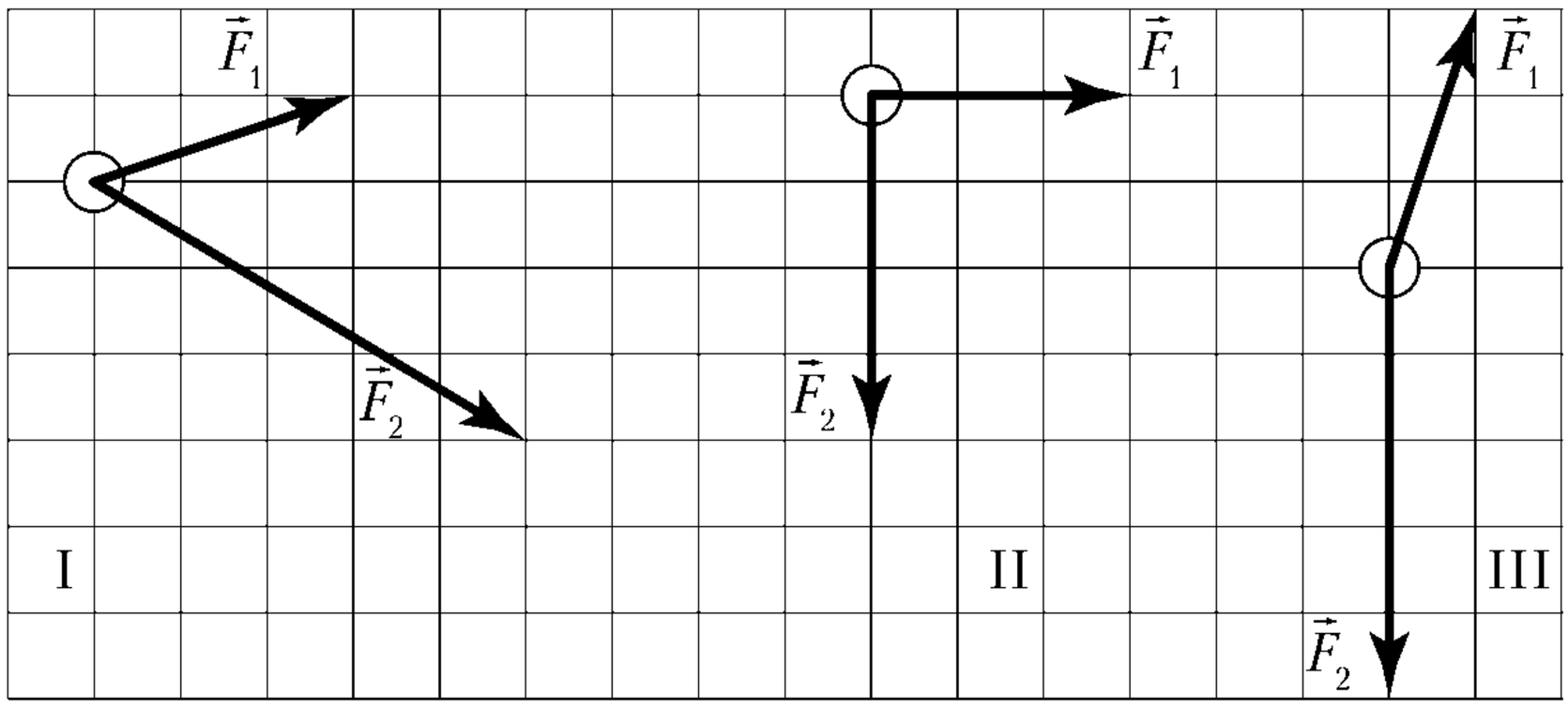


Рис. 3

4. Постройте векторы суммы и разности векторов сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, представленных на рисунке 3 в случаях I, II, III.

© MICHAEL GAUTIER

5. Модули векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ (рис. 4) соответственно равны 7 и 5. Постройте векторы суммы и разности векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$. Чему равны модули векторов $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$, $\vec{d} = \vec{a} - \vec{b}$, $\vec{k} = \vec{b} - \vec{a}$?

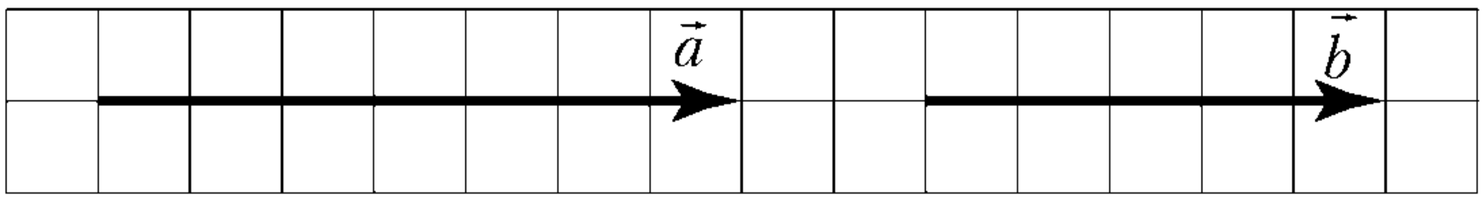


Рис. 4

6. Докажите, что при сложении векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ (рис. 4) модули и направления результирующих векторов $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$, $\vec{f} = \vec{b} + \vec{a}$ одинаковы.

7. Постройте вектор суммы трех векторов сил, лежащих в одной плоскости (рис. 5, 6).

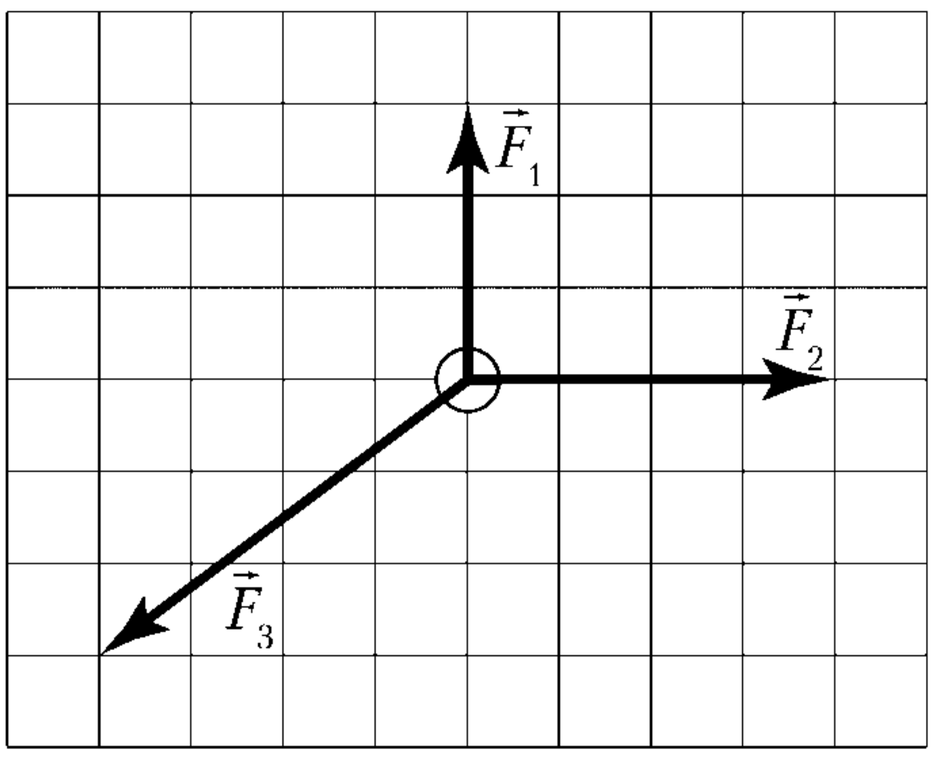


Рис. 5

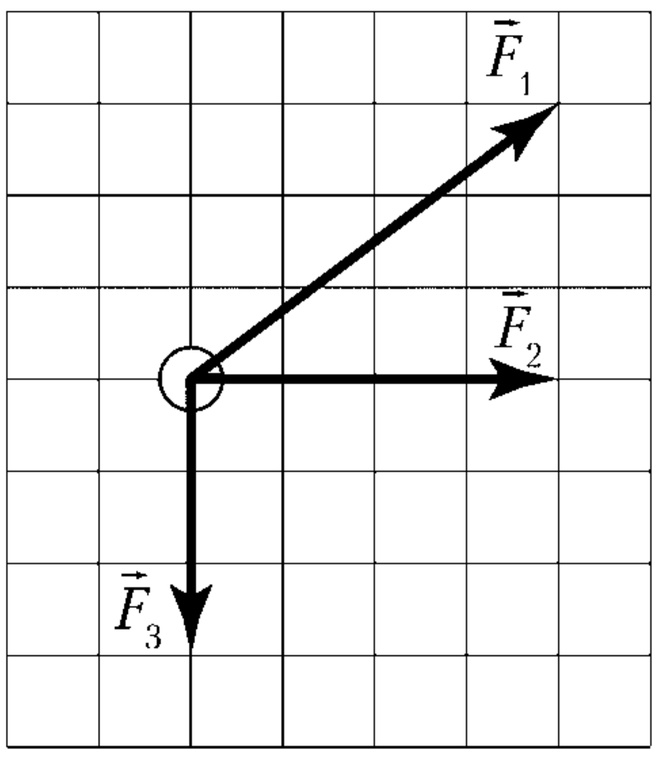


Рис. 6

8. Вектор $\vec{c}$ равен сумме векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$, т. е. $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$. На рисунке 7 (I, II, III) показаны векторы $\vec{c}$ и $\vec{a}$. Постройте вектор $\vec{b}$.

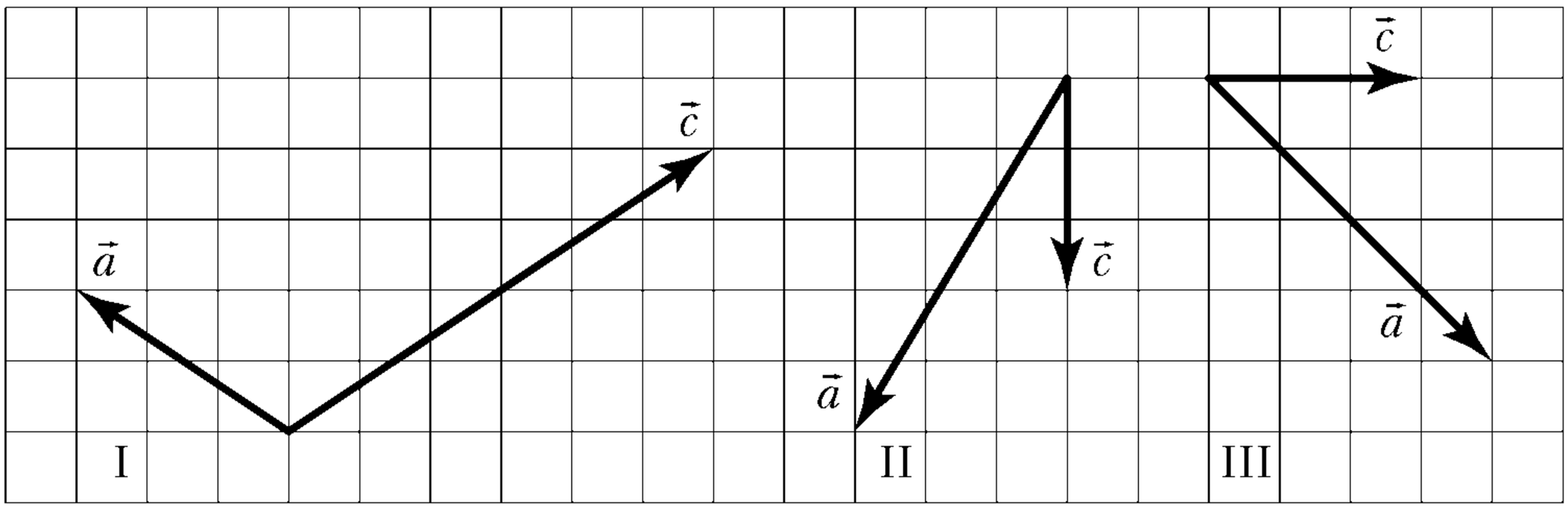


Рис. 7

© MICHAEL GAUTIER

9. Разложите векторы сил $\vec{F}_1$ (рис. 8) и $\vec{F}_2$ (рис. 9) на составляющие. Составляющие векторы направьте вдоль штриховых линий.

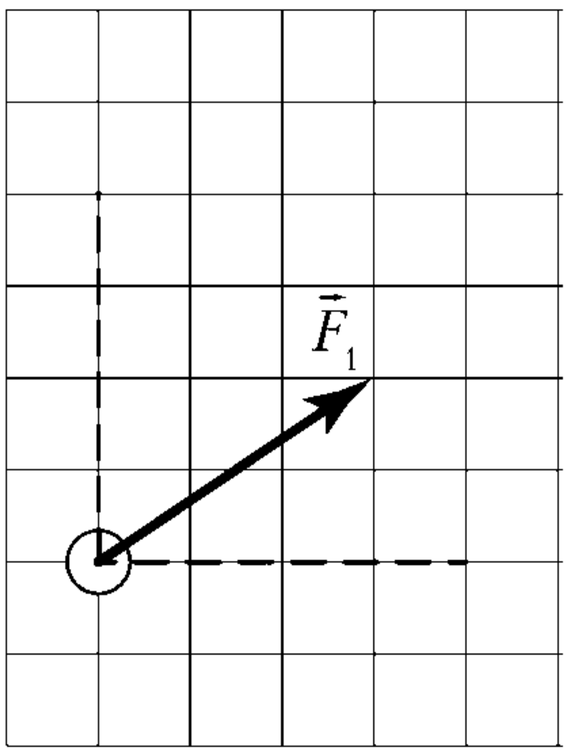


Рис. 8

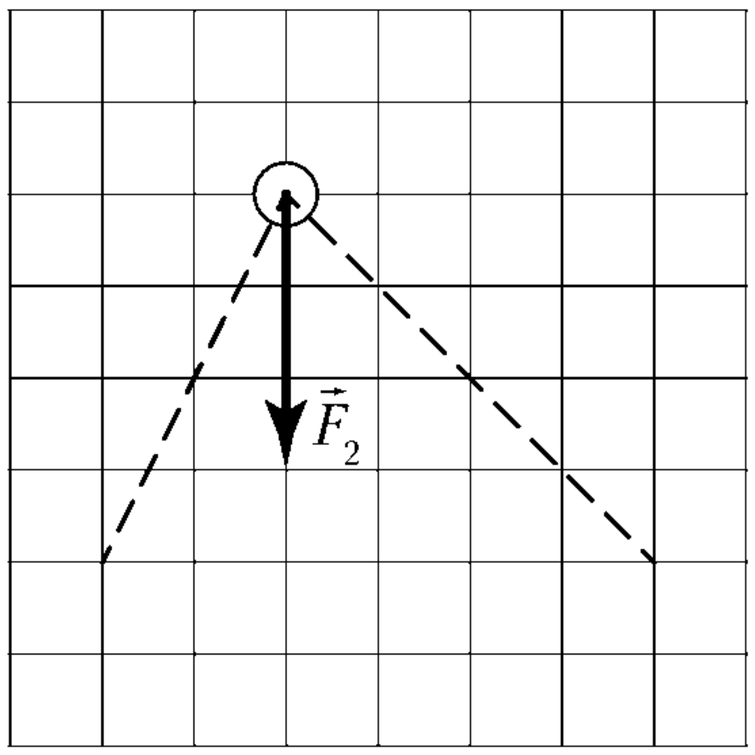


Рис. 9

10. Определите угол между двумя векторами $\vec{a}$ и $\vec{b}$ ($a = b$), если модуль вектора их суммы равен: а) 0; б) $2a$; в) a.

11. На рисунке 10 изображен вектор скорости $\vec{v}_1$. Постройте векторы: а) $\vec{v}_2 = 2\vec{v}_1$; б) $\vec{v}_3 = -0{,}5\vec{v}_1$.

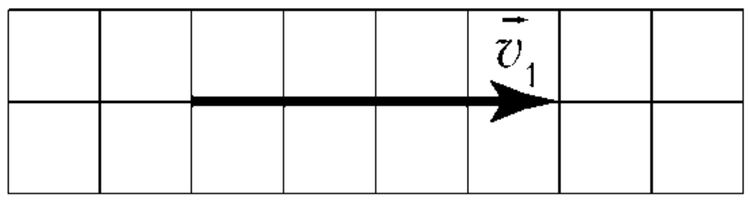


Рис. 10

12. Векторы сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ лежат на сторонах параллелограмма, острый угол которого $\alpha = 60°$ (рис. 11). Определите модуль вектора $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$. Модуль вектора силы $F_1 = 3$ Н, $F_2 = 5$ Н.

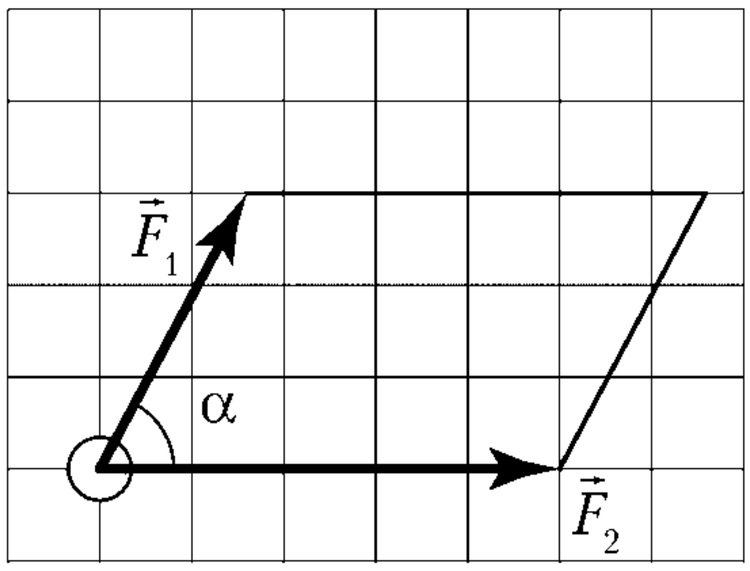


Рис. 11

© MICHAEL GAUTIER

13. Определите знак проекций векторов, представленных на рисунке 12, на координатные оси *Ox* и *Oy*. У каких векторов проекция вектора на ось равна его модулю?

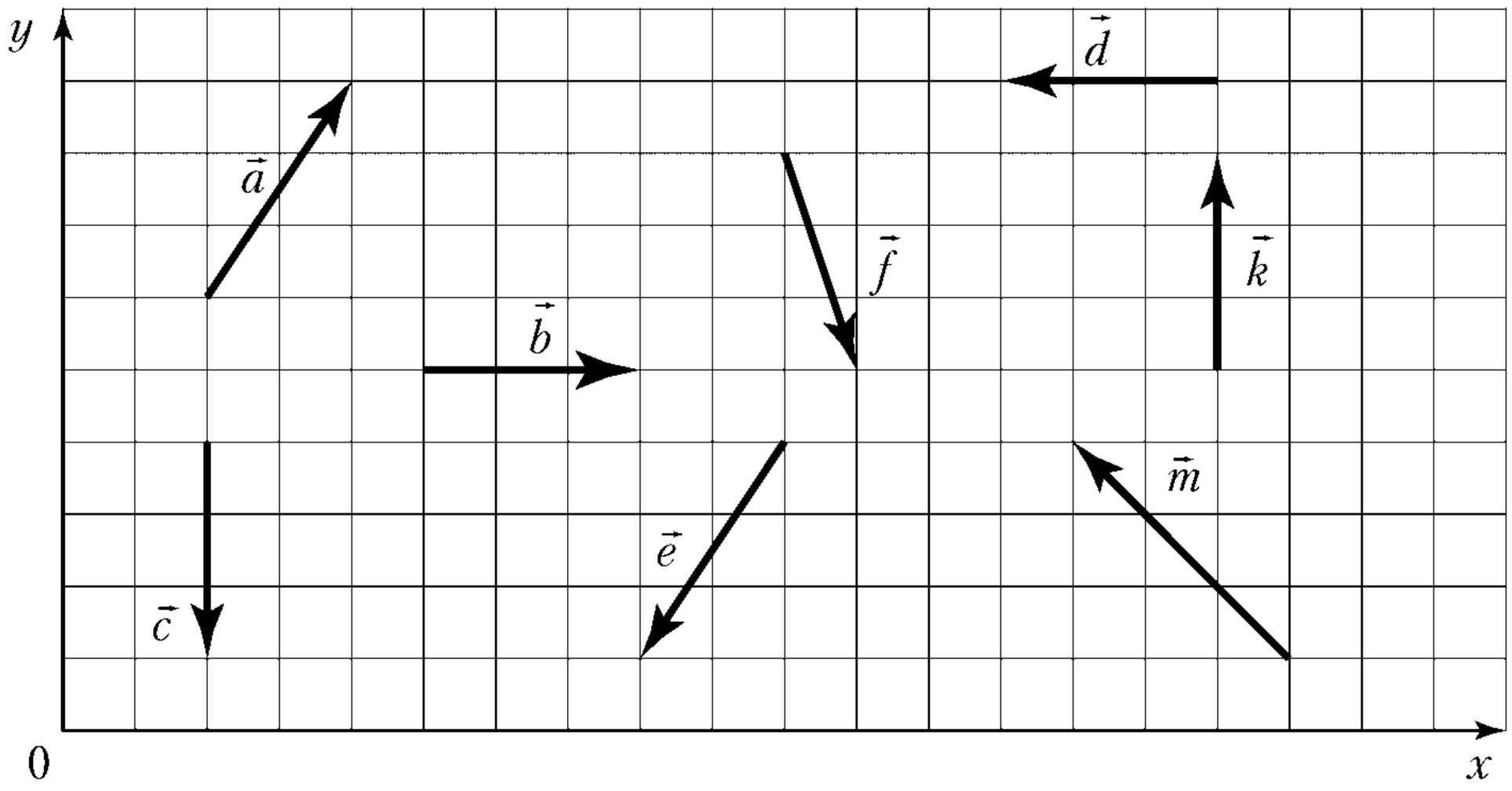
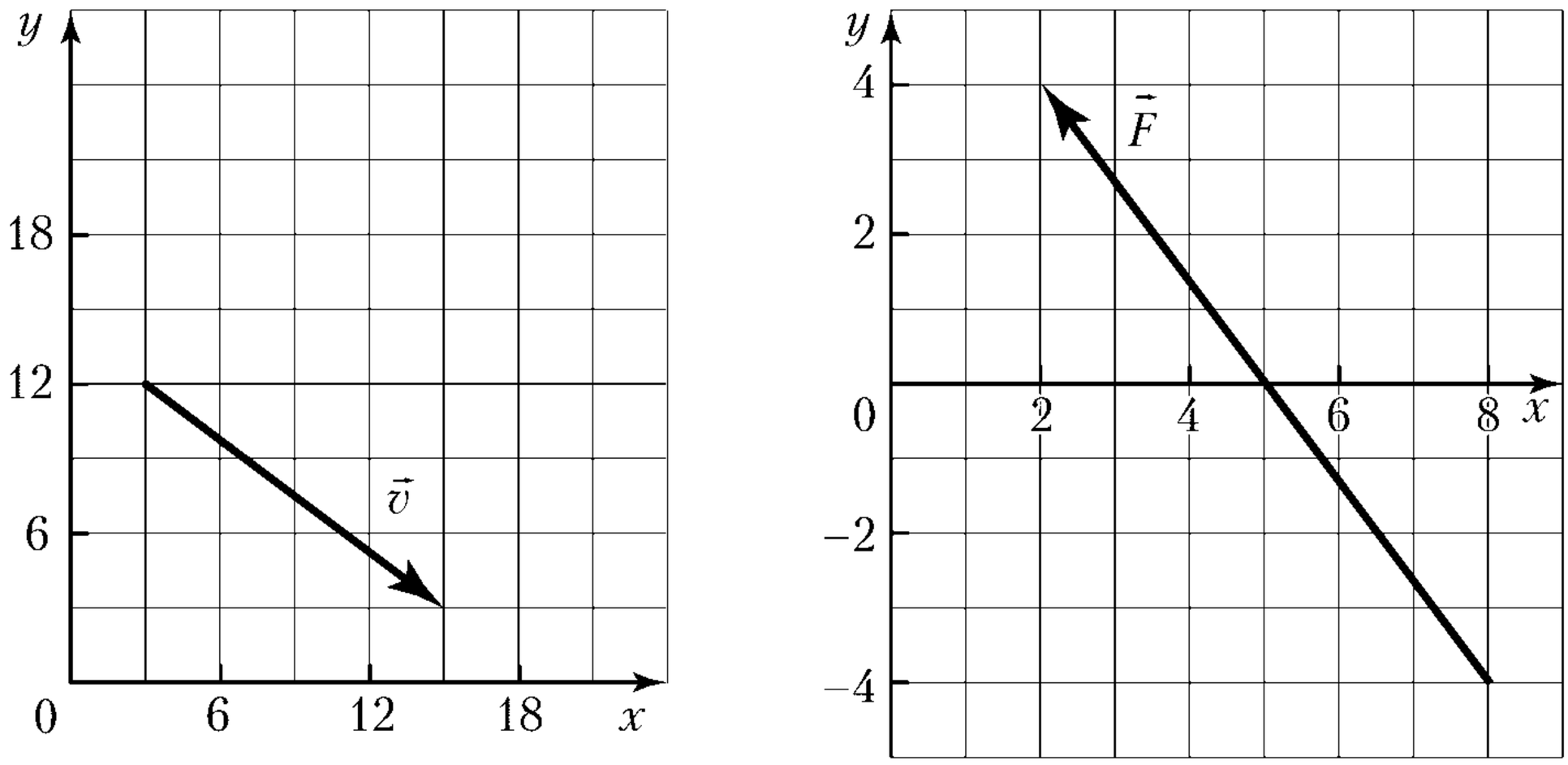


Рис. 12

14. На рисунке 13 изображены вектор скорости $\vec{v}$ (*а*) и вектор силы $\vec{F}$ (*б*). Определите проекции этих векторов на оси *Ox* и *Oy*.



а *б*

Рис. 13

© MICHAEL GAUTIER

15. На рисунке 14 представлены векторы $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$. Определите: а) координаты начала и конца каждого вектора; б) проекции векторов на координатные оси Ox и Oy; в) модули векторов.

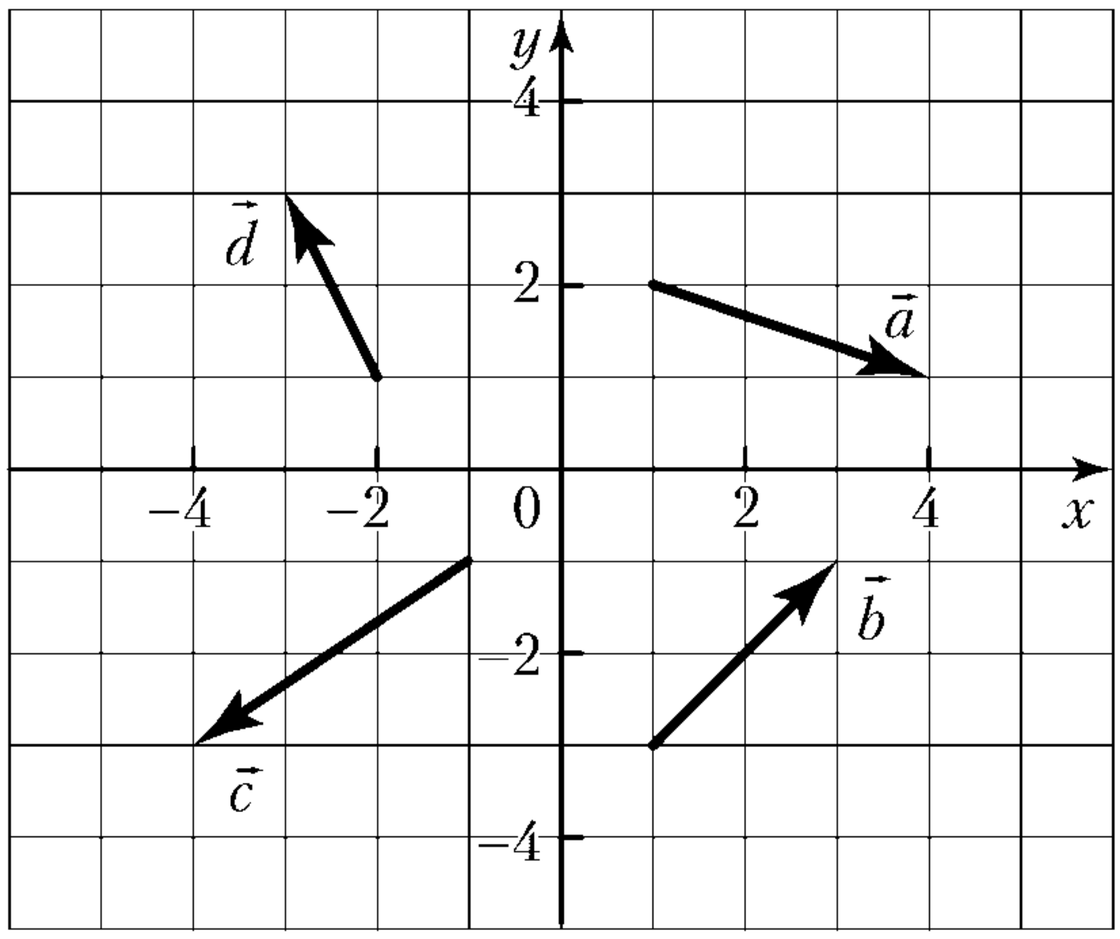


Рис. 14

16. Используя рисунок 15, начертите векторы $\overrightarrow{AB} = \vec{a}$, $\overrightarrow{BC} = \vec{b}$. Постройте вектор их суммы $\overrightarrow{AC} = \vec{c}$. а) Определите проекции этих векторов на оси Ox и Oy; б) докажите, что проекция вектора суммы на координатную ось равна алгебраической сумме проекций складываемых векторов на ту же ось; в) вычислите модуль вектора $\vec{c}$; г) вычислите угол, образованный вектором $\vec{c}$ и осью Ox.

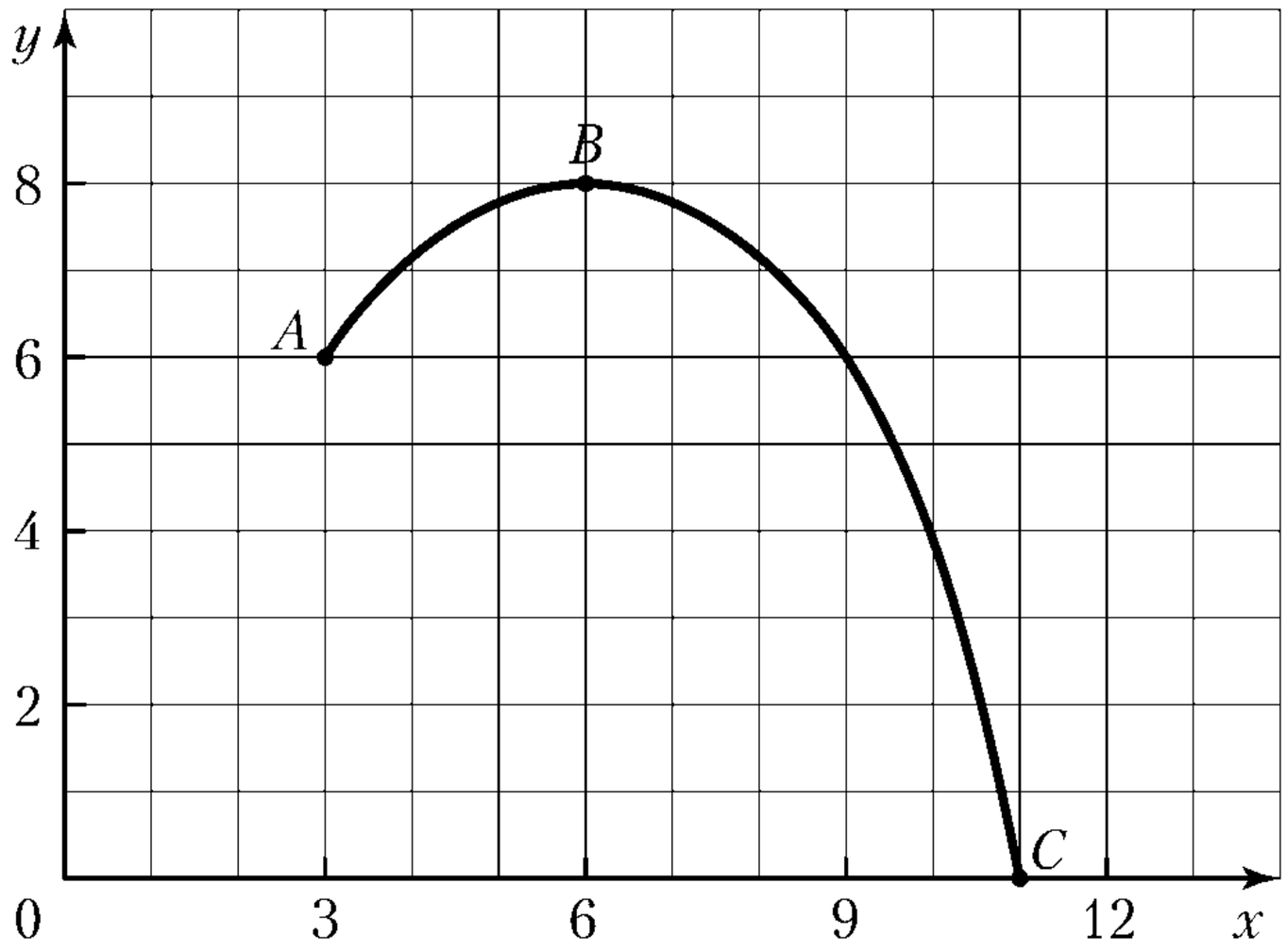


Рис. 15

© MICHAEL GAUTIER

17. Вектор $\Delta\vec{r}$, модуль которого $\Delta r = 5{,}0$, направлен под углом $\alpha = 30°$ к оси Ox. Определите проекции этого вектора на координатные оси Ox и Oy.

18. Определите модуль и направление относительно оси Ox вектора $\vec{a}$, проведенного из точки A с координатами $x_1 = 2, y_1 = 6$ в точку B с координатами $x_2 = 5, y_2 = 10$.

19. Из точки A, координаты которой $x_1 = 1{,}0$ м и $y_1 = 5{,}0$ м, шарик по прямой линии переместился в точку B, пройдя путь $s = 7{,}0$ м. Определите координаты x_2 и y_2 точки B, если направление движения шарика составляло с осью Ox угол $\alpha = 30°$.

20. Постройте в координатной плоскости xOy вектор $\vec{a}$ и определите его модуль, если $a_x = -6{,}0$, $a_y = 8{,}0$. Начало вектора совпадает с началом координат.

2

Механическое движение. Относительность движения. Система отсчета

21. Один спортсмен бежит дистанцию $s = 500$ м, а другой прыгает в длину с места (без разбега). В каком из этих движений спортсмена можно моделировать материальной точкой? Почему?

22. Может ли конструктор считать космическую ракету материальной точкой: а) рассчитывая время ее движения из одной области Солнечной системы в другую; б) рассчитывая, как сильно может нагреться оболочка ракеты при ее движении в атмосфере Земли; в) изучая вероятность попадания в ракету одного из небольших метеорных тел, движущихся в космосе?

23. Поясните, при решении каких задач приведенные в условии тела можно моделировать материальной точкой: а) при определении расстояния от Земли до Марса; б) при вычислении длины экватора Земли; в) при определении скорости движения спутника Юпитера вокруг планеты; г) при определении скорости вращения экваториальных точек Венеры; д) при вычислении давления везде-

© MICHAEL GAUTIER

хода на грунт; е) при определении объема металлического болта с помощью мензурки.

24. Может ли человек, находясь на движущемся эскалаторе метро, быть в покое относительно платформы?

25. Деревянная плашка находится на поверхности воды в реке. Укажите тела, относительно которых плашка: а) движется; б) покоится.

26. Столбы линии электропередачи «пролетают» мимо окна движущегося вагона поезда. Укажите тела, относительно которых столбы движутся, а относительно которых покоятся.

27. Вертолет равномерно поднимается вертикально вверх. Какую форму представляет собой траектория движения точек на конце лопасти винта для наблюдателя, находящегося: а) в кабине вертолета; б) на поверхности земли?

28. Гайку свинчивают с неподвижного болта. Какую траекторию относительно болта описывает точка на поверхности гайки?

29. Поезд едет на восток. В каком направлении летит вертолет, если находящемуся в нем летчику, наблюдающему за движением поезда, кажется, что поезд: а) покоится; б) движется на запад? Сравните скорость поезда и вертолета в обоих случаях.

30. Укажите тела отсчета, относительно которых мальчик находится в движении, если он: а) поднимается в лифте; б) едет в электропоезде метро; в) стоит возле картины в музее; г) сидит в кабине вращающегося колеса обозрения.

31. Жук ползет от центра вращающегося диска к его краю со скоростью, модуль которой не изменяется. Изобразите траектории движения жука относительно центра диска и относительно земли.

32. Какова траектория движения точки обода колеса мотоцикла, движущегося прямолинейно, относительно: а) поверхности земли; б) корпуса мотоцикла; в) оси вращающегося колеса?

33. Автомобиль на ходу загружается зерном из бункера комбайна. Сравните скорости движения автомобиля и комбайна относительно поверхности земли и относительно друг друга.

34. Пассажир идет по палубе плывущего корабля от кормы к носу. В какой системе отсчета — связанной с землей или кораблем — скорость пассажира наименьшая?

© MICHAEL GAUTIER

35. Из зависшего над поверхностью земли вертолета одновременно начинают падать два одинаковых груза. В какой системе отсчета (относительно какого тела) первый груз будет покоиться? В какой системе отсчета траектория второго груза будет: а) прямой линией; б) точкой?

36. Летчику необходимо сбросить груз для геологов, находящихся в долине, где постоянно дуют ветры. Сколько осей должна иметь система координат, входящая в систему отсчета, в которой летчик рассматривает движение груза?

37. (э) Имея катушку с вырезом по краю для карандаша, экспериментально покажите относительность траектории движения.

Оборудование: катушка с вырезом, карандаш, экран.

3

Путь и перемещение

38. Какая форма траектории движения учащегося, если пройденный им путь равен модулю перемещения?

39. В будний день троллейбус делает на 4 рейса больше, чем в выходной. В какой из этих дней троллейбус проходит за день больший путь? Сравните модули перемещения троллейбуса в будний и выходной дни.

40. Что определяет пассажир автобуса по числам на километровых столбах, установленных вдоль шоссейных дорог: модуль перемещения автобуса или пройденный им путь?

41. Мальчик, стоя на мосту над речкой, бросил вертикально вверх камешек из точки A (рис. 16). Камешек поднялся вверх (B — максимальная точка подъема), а затем упал на дно речки (точка C). Определите путь и модуль перемещения камешка, если $AB = 3$ м, $BC = 9$ м.

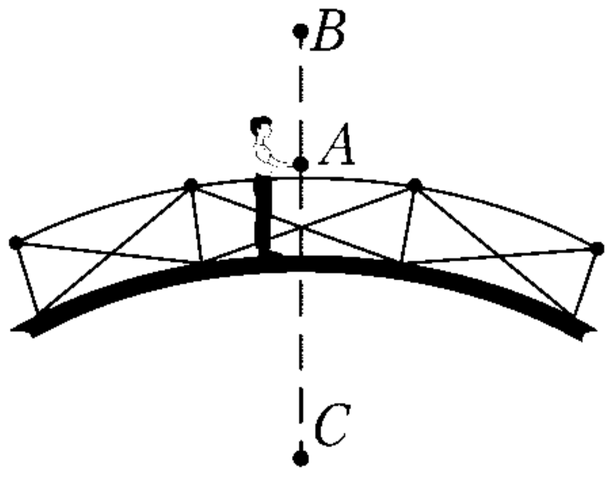


Рис. 16

© MICHAEL GAUTIER

42. Жонглер бросает кольца вертикально вверх на высоту $h = 2$ м и ловит их при возвращении обратно. Чему равны путь и модуль перемещения, совершаемые одним кольцом при одном броске?

43. Две мухи проползли по потолку прямоугольной формы из угла A (рис. 17) в угол C: одна — по диагонали AC, другая — вдоль стен AB и BC. Какие пути и модули перемещения совершила каждая из мух, если ширина потолка $AB = 3{,}0$ м, а длина $BC = 4{,}0$ м?

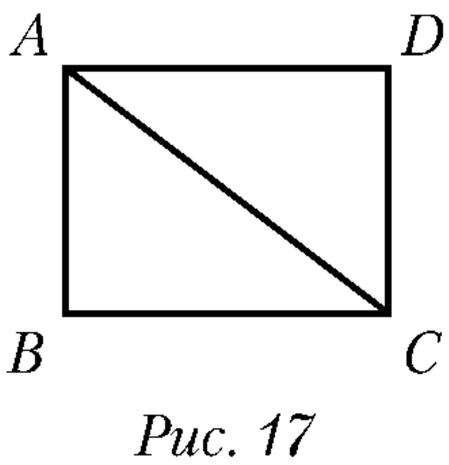


Рис. 17

44. Из окна третьего этажа мальчик бросает другу мяч для большого тенниса. Мяч падает на расстоянии $l = 12$ м от стены дома. Высота одного этажа $h = 3{,}6$ м. Чему равен модуль перемещения мяча относительно поверхности земли? Равны ли путь и модуль перемещения мяча? Точку бросания мяча считать находящейся на высоте, равной $2{,}5h$ от поверхности земли.

45. Пешеход прошел по проспекту путь $s_1 = 300$ м, затем повернул направо и еще прошел по улице путь $s_2 = 400$ м. Определите путь и модуль перемещения пешехода, считая движение по проспекту и улице прямолинейным.

46. Шар, наполненный гелием, поднялся на высоту $h = 600$ м. Затем ветер отнес его в горизонтальном направлении. На какое расстояние был отнесен ветром шар, если модуль его перемещения $\Delta r = 1{,}00$ км?

47. Утром со школьного двора ребята отправились в туристический поход. Вечером по мобильному телефону они сообщили, что прошли путь $s = 17$ км. Можно ли по этим данным определить конечную точку маршрута? Какие еще данные необходимы для этого?

48. Штурман, определяя утром положение рыболовецкого судна, обнаружил, что судно находится в точке, расположенной на удалении $l = 15$ км к северу от пункта, в котором было судно накануне вечером. Путь или модуль перемещения судна определил штурман?

© MICHAEL GAUTIER

49. Из пунктов A и B (рис. 18) кольцевой гоночной трассы радиусом R одновременно выезжают и движутся два мотоциклиста, модули скорости v_1 и v_2 которых не изменяются. Определите модуль перемещения второго мотоциклиста к моменту, когда первый окажется в пункте B, если $v_1 = 2v_2$.

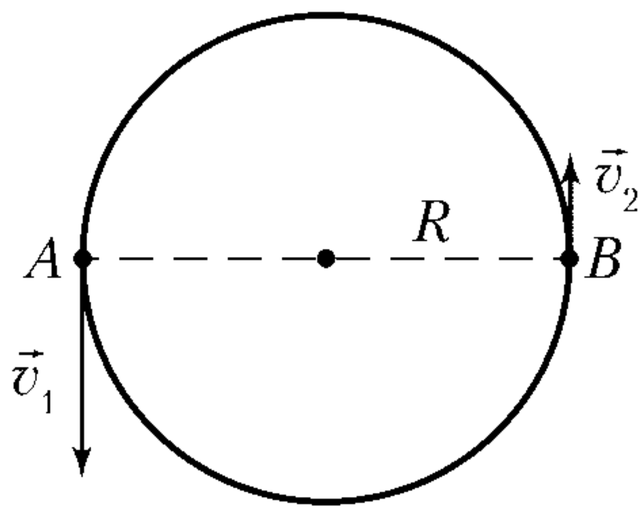


Рис. 18

50. В каком соотношении находятся пути и модули перемещения (рис. 19) трех грибников, если первый грибник движется по дуге CD, второй — по ломаной CED, третий — по прямой CD?

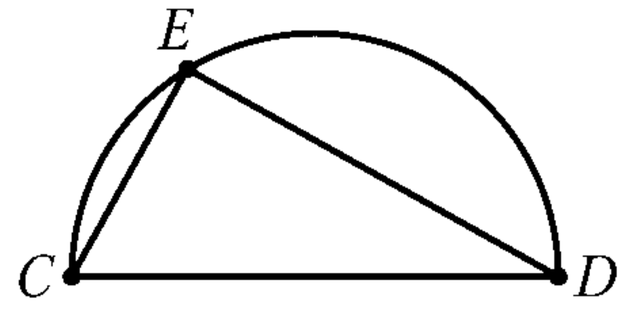


Рис. 19

51. На рисунке 20 изображена траектория $ABCD$ движения футболиста по полю. Определите координаты футболиста в начале и в конце движения, пройденный путь и модуль перемещения.

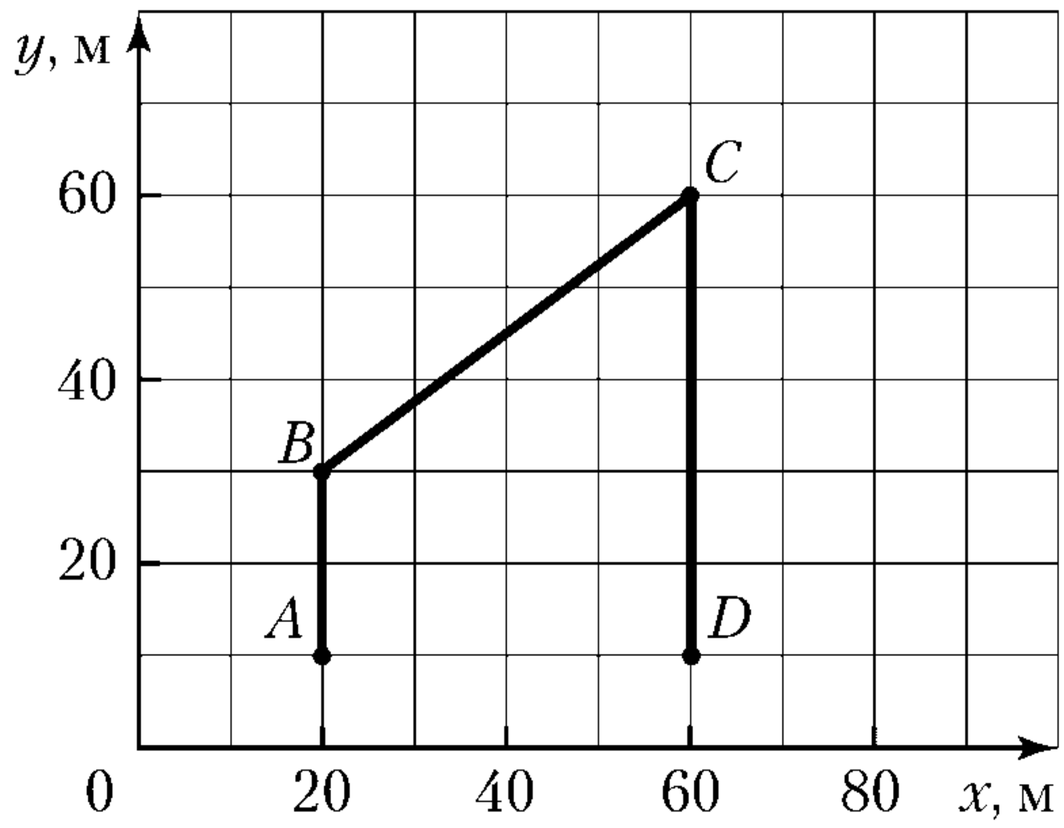


Рис. 20

52. Фигуристка переместилась из точки A с координатами $x_1 = -2$ м, $y_1 = 3$ м в точку с координатами $x_2 = 2$ м, $y_2 = 6$ м. Определите модуль перемещения фигуристки.

53. Черепаха движется по плоскости из точки с координатами $x_1 = -5$ м, $y_1 = 10$ м. Проекции вектора перемещения черепахи $\Delta r_x = 15$ м, $\Delta r_y = -20$ м. Определите модуль перемещения и координаты черепахи в конце движения.

54. Мотоциклист участвует в гонках по шоссейному кольцу радиусом $R = 5{,}0$ км. Пройдя два с четвертью круга, мотоциклист со-

© MICHAEL GAUTIER

вершил вынужденную остановку. Определите путь и модуль перемещения мотоциклиста к моменту остановки.

55. Куб со стороной $a = 10{,}0$ см, лежащий на столе (рис. 21), повернули вокруг ребра DD' на угол $\alpha = 90°$. Определите пути, пройденные при этом точками A, B, C, D, и модули перемещения этих точек.

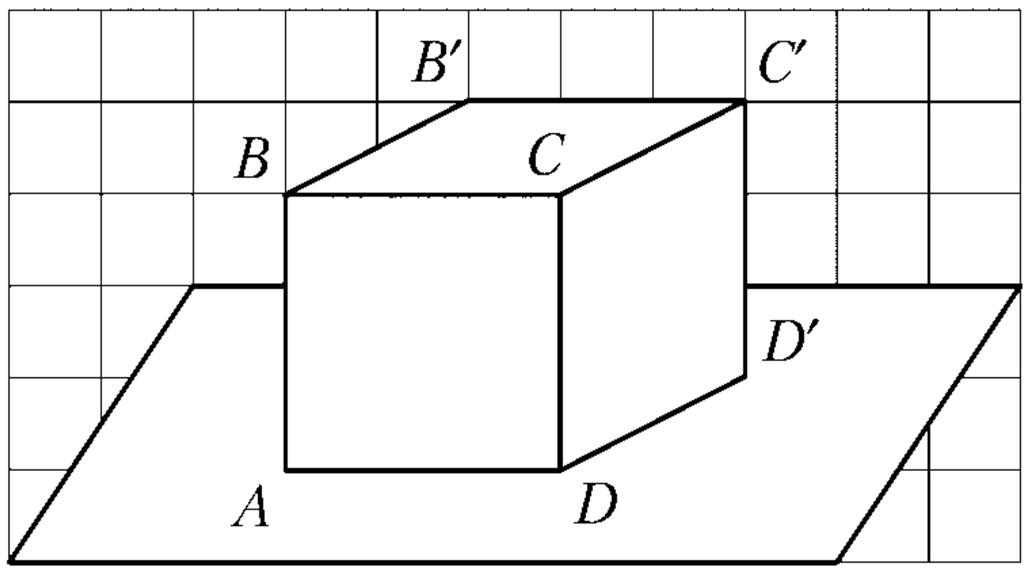
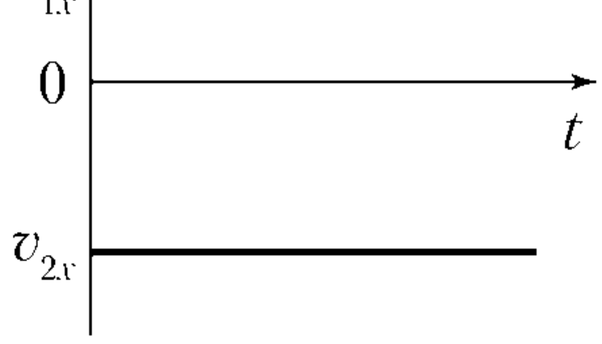


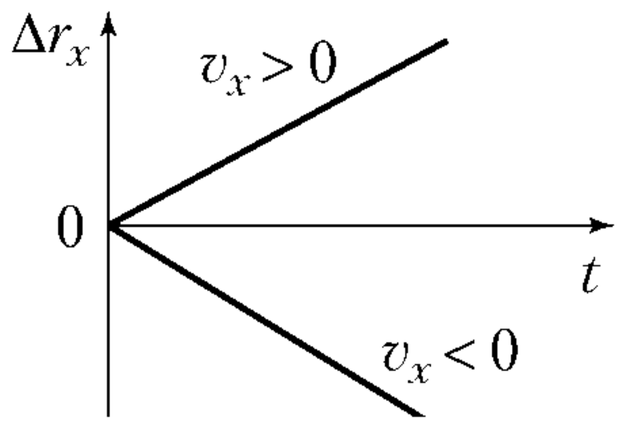
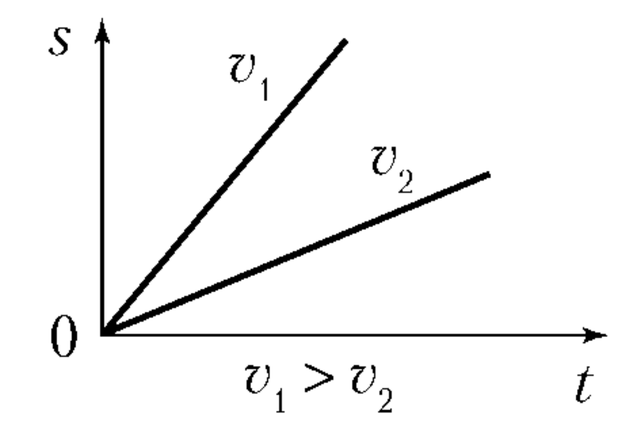
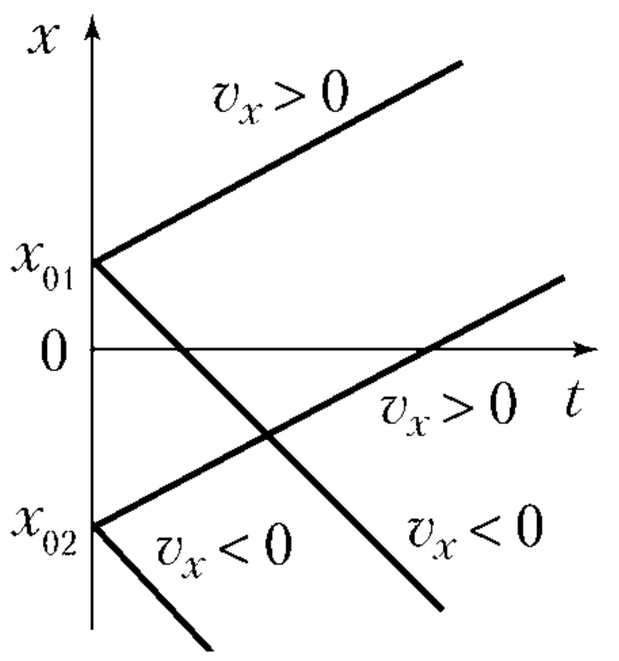
Рис. 21

4

Равномерное прямолинейное движение. Скорость

Физическая величина	Формула	Графики
Скорость при равномерном прямолинейном движении	Скорость: $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ Модуль скорости: $v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ Проекция скорости на ось Ox: $v_x = \frac{\Delta r_x}{\Delta t}$	Графики проекции скорости: 

© MICHAEL GAUTIER

Физическая величина	**Формула**	**Графики**
Перемещение при равномерном прямолинейном движении	Перемещение: $\Delta\vec{r} = \vec{v}\Delta t$ Модуль перемещения: $\Delta r = v\Delta t$ Проекция перемещения на ось Ox: $\Delta r_x = v_x\Delta t$	Графики проекции перемещения: 
Путь при равномерном прямолинейном движении	$s = v\Delta t$	
Координата при равномерном прямолинейном движении	Кинематический закон равномерного прямолинейного движения: $x = x_0 + v_x t$	

56. При движении воздушный шар за любые равные промежутки времени совершает перемещения, модули которых равны. Можно ли утверждать, что такое движение шара является равномерным? Почему?

57. В одной точке прямолинейной траектории модуль скорости движения гоночного автомобиля $v_1 = 36\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, в другой — $v_2 = 36\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Было ли движение автомобиля равномерным?

58. В одной точке траектории модуль скорости движения скутера $v_1 = 18\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, во всех остальных — $v_2 = 5{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Можно ли утверждать, что движение скутера было равномерным?

© MICHAEL GAUTIER

59. В момент начала отсчета времени жук находился в точке с координатой $x_0 = 6$ м. Запишите кинематический закон равномерного движения жука, если за каждую секунду он пролетал путь $s = 3$ м, двигаясь противоположно направлению оси Ox.

60. Птица летит с постоянной скоростью, модуль которой $v = 36 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. За какое время она преодолеет путь $s = 200$ м?

61. Водитель легкового автомобиля, движущегося равномерно и прямолинейно со скоростью, модуль которой $v = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, отвлекся на время $t = 2{,}0$ с от дороги (смотрел в сторону). Какой путь проехал автомобиль за это время? Почему опасно отвлекать водителя во время движения?

62. Электропоезд длиной $l_1 = 150$ м, движущийся равномерно со скоростью, модуль которой $v = 45 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, въезжает в тоннель длиной $l_2 = 300$ м. Через какое время электропоезд полностью выйдет из тоннеля?

63. Один из автомобилей, двигаясь со скоростью, модуль которой $v_1 = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, в течение времени $t_1 = 10$ с совершил такое же перемещение, как и другой за время $t_2 = 15$ с. Определите модуль скорости движения второго автомобиля, если оба двигались равномерно.

64. Какой объем нефти пройдет по трубопроводу, внутренняя площадь поперечного сечения которого $S = 0{,}030\,\text{м}^2$, за время $t = 8{,}0$ мин? Модуль скорости равномерного течения нефти $v = 0{,}50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

65. Пешеход переходил дорогу с постоянной скоростью, модуль которой $v = 4{,}2 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, по прямой, составляющей угол $\alpha = 30°$ с направлением дороги, в течение времени $t = 1{,}0$ мин. Определите ширину дороги.

66. Два велосипедиста движутся равномерно по взаимно перпендикулярным прямым дорогам. В некоторый момент времени первый велосипедист, модуль скорости движения которого $v_1 = 7{,}20 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$,

© MICHAEL GAUTIER

находился на расстоянии $s_1 = 300$ м от перекрестка. На каком расстоянии от перекрестка находился второй велосипедист, если, двигаясь со скоростью, модуль которой $v_2 = 12{,}6\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, он достигает перекрестка через время $t = 10{,}0$ с после первого?

67. Два автомобиля, двигаясь равномерно по двум пересекающимся под прямым углом дорогам, одновременно проезжают перекресток. Через время $t = 20$ с после проезда перекрестка расстояние между автомобилями стало $l = 500$ м. Определите модуль скорости движения второго автомобиля, если модуль скорости движения первого $v_1 = 15\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

68. Два бегуна двигались по пересекающимся под углом $\alpha = 60°$ прямым дорожкам со скоростями, модули которых равны. Через время $t = 30$ с после их встречи в месте пересечения дорожек расстояние между бегунами стало $l = 90$ м. Определите модуль скорости движения бегунов.

69. Два автомобиля равномерно и прямолинейно движутся к перекрестку по взаимно перпендикулярным улицам со скоростями, модули которых $v_1 = 12\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $v_2 = 14\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. В начальный момент времени первый автомобиль находился от перекрестка на расстоянии $l_1 = 255$ м, а второй — на расстоянии $l_2 = 170$ м. Через сколько времени расстояние между автомобилями будет таким же, как и в начальный момент времени?

70. Из Жодино в Минск выехал легковой автомобиль, и одновременно навстречу ему из Минска выехал грузовой автомобиль. В 12 ч 00 мин машины проехали мимо друг друга. В 12 ч 32 мин легковой автомобиль прибыл в Минск, а еще через время $t = 18$ мин грузовой автомобиль прибыл в Жодино. Определите модуль скорости движения грузового автомобиля, если модуль скорости движения легкового автомобиля $v_1 = 90\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Движение автомобилей считать равномерным.

71. Мальчик равномерно бежит перпендикулярно к стене многоэтажного дома со скоростью, модуль которой v. Оказавшись на расстоянии l_1 от стены, мальчик издает короткий, но громкий свист, про-

© MICHAEL GAUTIER

должая бежать с прежней скоростью. На каком расстоянии от стены дома окажется мальчик в тот момент, когда он услышит эхо? Модуль скорости звука равен v_0.

72. Дельфин афалина развивает скорость, модуль которой $v_1 = 55\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, кит-полосатик — $v_2 = 40\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. На каком расстоянии находился кит от дельфина, если, плывя равномерно в одном направлении, дельфин догнал кита через время $t = 20$ мин?

73. От пристани I к пристани II вышла моторная лодка со скоростью, модуль которой постоянен и равен $v_1 = 12\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Через время $t_1 = 1{,}5$ ч после выхода лодки в том же направлении отправился теплоход со скоростью, модуль которой $v_2 = 24\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите расстояние между пристанями, если теплоход пришел к пристани II на время $t_2 = 1{,}0$ ч раньше лодки.

74. Вычислите пропускную способность автострады, т. е. число машин, пересекающих данную линию в течение часа, если модуль средней скорости движения машин $\langle v \rangle = 72\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, а автострада имеет три полосы одностороннего движения. Длина машины в среднем $l = 5{,}0$ м, расстояние между ними должно быть не менее $s = 50{,}0$ м.

75. Равномерное прямолинейное движение туриста относительно турбазы задано уравнением $x = A + Bt$, где $A = 200$ м, $B = 2{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите начальную координату туриста и проекцию скорости его движения вдоль оси Ox.

76. Исходя из условия предыдущей задачи, запишите уравнение, описывающее движение туриста, если его скорость направлена против оси Ox.

77. Считая модуль скорости роста бамбука постоянным и равным $v = 0{,}50\ \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$, запишите формулу зависимости высоты бамбука от времени наблюдения, если его начальная высота $h_0 = 1{,}5$ м. За какое время высота бамбука увеличится в $n = 4$ раза?

© MICHAEL GAUTIER

78. Прямолинейное движение вдоль оси Ox лодки задано уравнением $x = A + Bt$, где $A = 100$ м, $B = 7{,}20\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Чему равна проекция скорости движения лодки? Определите координату лодки в момент времени $t = 10{,}0$ с. Постройте графики зависимости проекции скорости движения и координаты лодки от времени.

79. Кинематические законы прямолинейного движения Кати и Нади вдоль оси Ox имеют вид: $x_К = A + Bt$, $x_Н = C + Dt$, где $A = 3{,}0$ м, $B = 1{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C = 9{,}0$ м, $D = 0{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите координату точки, в которой Катя догонит Надю. Задачу решите аналитически и графически. Постройте графики их путей. Сравните углы наклона графиков к оси абсцисс.

80. Два мотоциклиста равномерно движутся в одном направлении. Модуль скорости движения первого мотоциклиста меньше модуля скорости второго в $k = 1{,}5$ раза. Постройте графики их путей и модулей скорости.

81. Кинематические законы прямолинейного движения двух гончих собак вдоль оси Ox имеют вид: $x_1 = A + Bt$, $x_2 = C + Dt$, где $A = 8{,}0$ м, $B = 1{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C = 16{,}0$ м, $D = -4{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите координату места встречи и время, через которое собаки встретятся. Постройте графики движения собак.

82. Начальная координата лыжника $x_0 = 200$ м, проекция скорости его движения на ось Ox постоянна и равна $v_x = 36\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Запишите кинематический закон движения лыжника и постройте график зависимости координаты лыжника от времени. Определите по формуле и графику координату лыжника в момент времени $t = 5{,}0$ с.

83. На рисунке 22 представлена зависимость координаты гироскутера от времени движения вдоль оси Ox. Определите путь, пройденный гироскутером за время: а) $t_1 = 1$ с; б) $t_2 = 2$ с; в) $t_3 = 3$ с от начала отсчета времени.

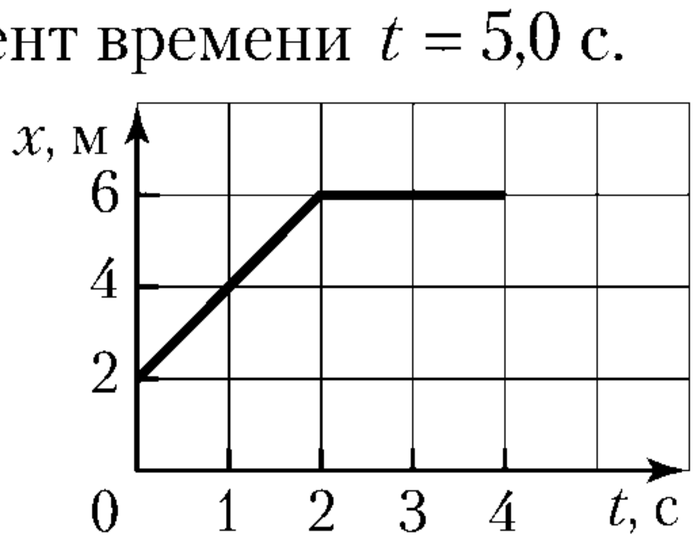


Рис. 22

© MICHAEL GAUTIER

84. На рисунке 23 представлен график полета орла, движущегося вертикально вверх. Опишите полет орла и постройте график зависимости модуля скорости его движения от времени. Определите модуль перемещения орла за время $t = 100$ с.

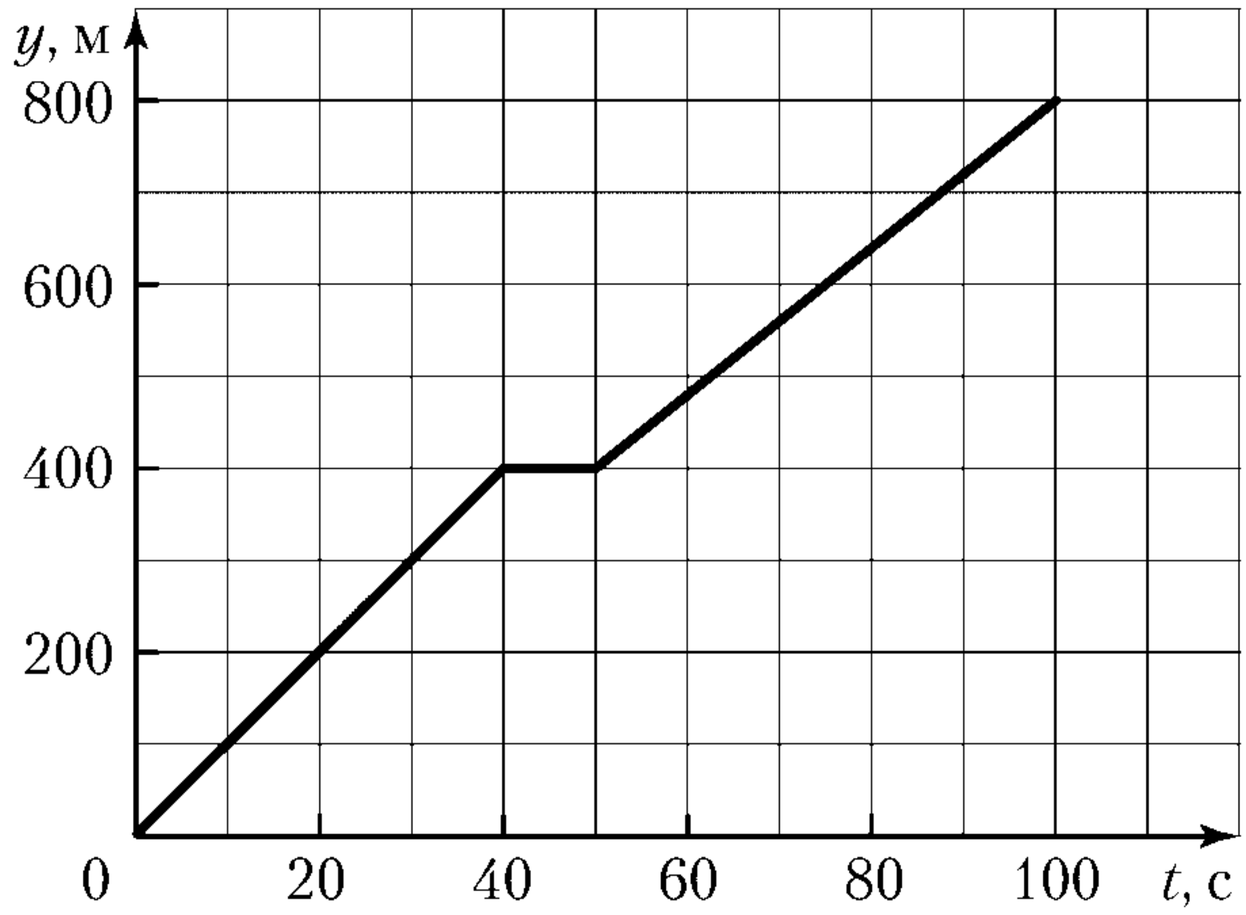


Рис. 23

85. На рисунке 24 представлены графики движения двух тракторов вдоль оси Ox. Чем отличаются их движения? Как относятся модули их скорости? Какой путь пройдет каждый из них за время $t = 6{,}0$ с?

86. На рисунке 25 представлены графики движения двух самокатов вдоль оси Ox. Сравните их углы наклона к оси абсцисс и сделайте вывод: какой самокат двигался быстрее. Поясните, что обозначают точки A и B, отмеченные на рисунке. Постройте графики проекций скорости движения самокатов.

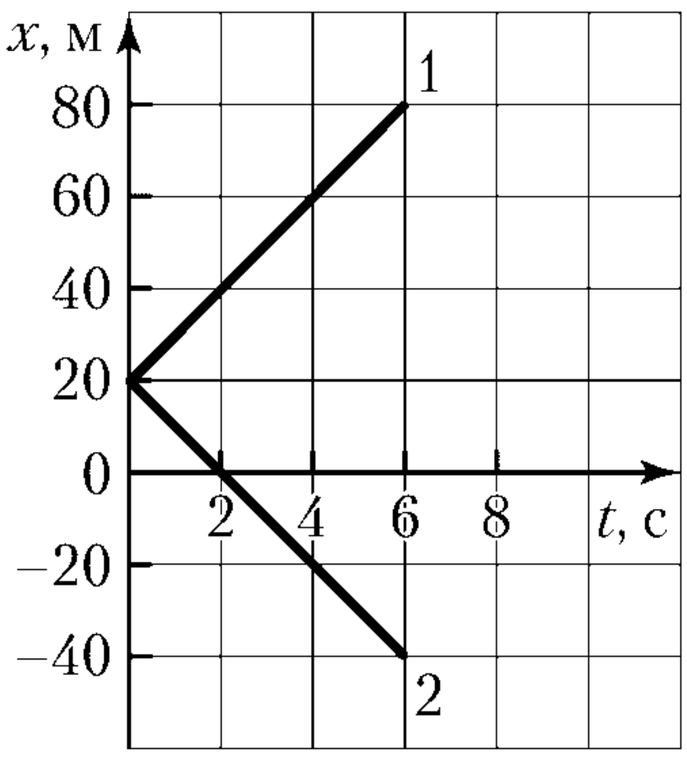


Рис. 24

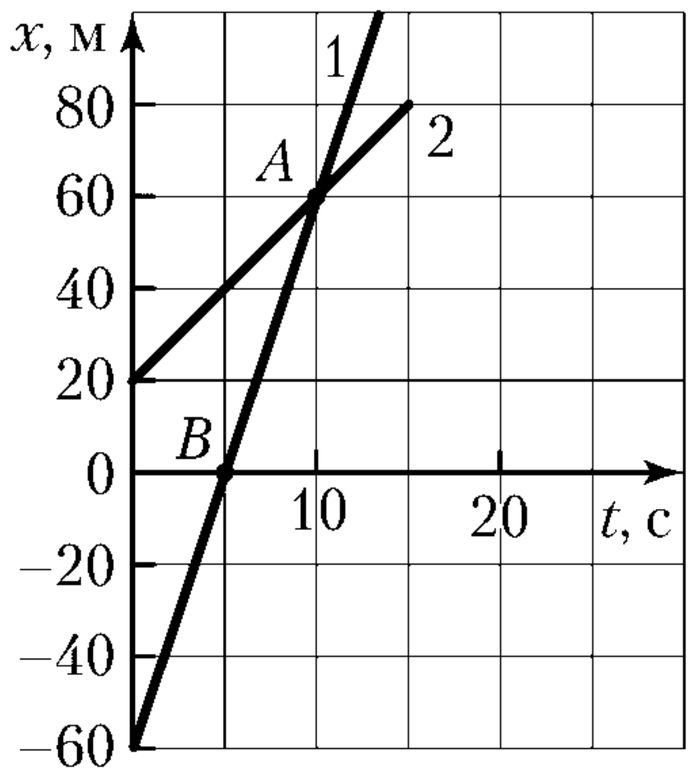


Рис. 25

© MICHAEL GAUTIER

87. На рисунке 26 представлены графики движения велосипедиста (1) и пешехода (2) вдоль оси *Ox*. Определите проекции скорости их движения на ось *Ox*. Запишите кинематический закон движения велосипедиста и пешехода.

88. Графики прямолинейного движения трех голубей вдоль оси *Ox* представлены на рисунке 27. Определите модуль скорости полета каждого голубя. Какой характер их движения? Запишите кинематический закон движения каждого голубя. Что означают точки *A* и *B* пересечения графиков?

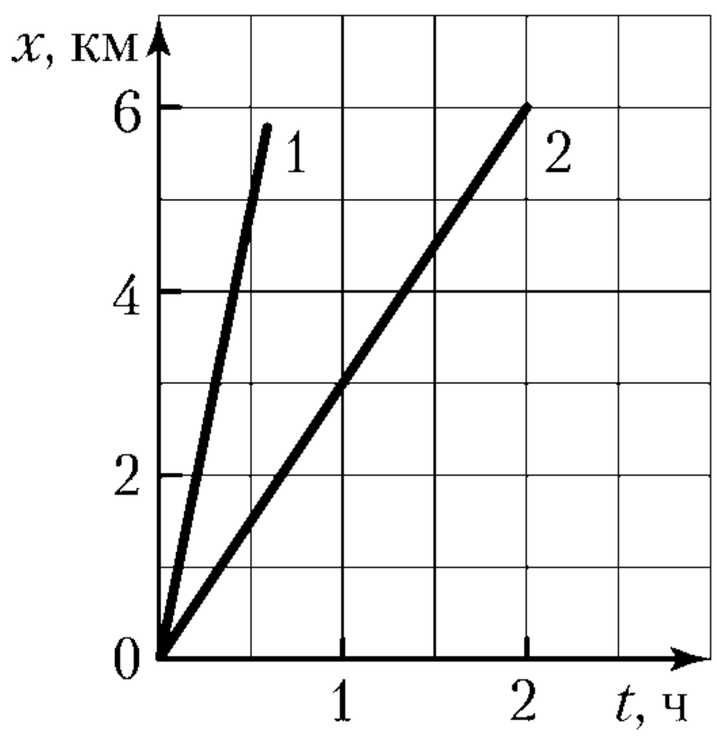


Рис. 26

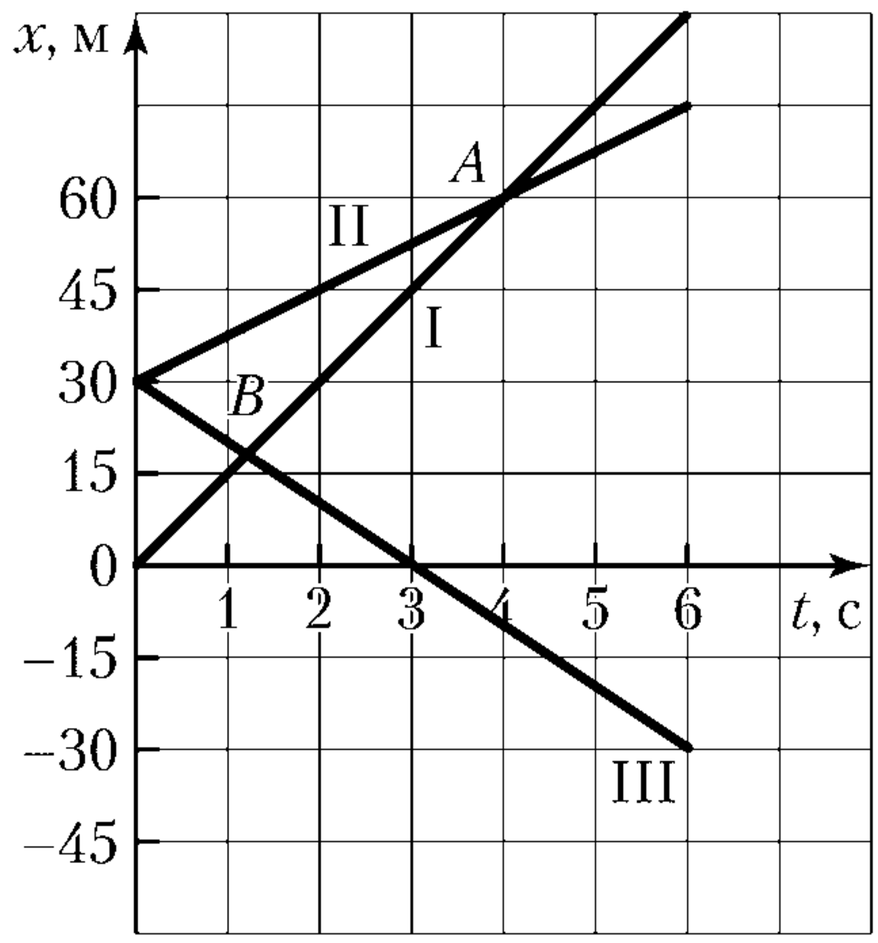


Рис. 27

89. На рисунке 28 представлены графики движения междугородного автобуса, автобуса городского маршрута и трактора. Какому транспортному средству принадлежит каждый из графиков? Постройте графики проекций скорости движения каждого из них.

90. График зависимости координаты от времени движения первого пешехода вдоль оси *Ox* изображается прямой, проходящей через точки (0; 2) и (3; 5), второго — через точки (0; 6) и (6; 9). Запишите кинематические законы их движения, определите отношение модуля скорости дви-

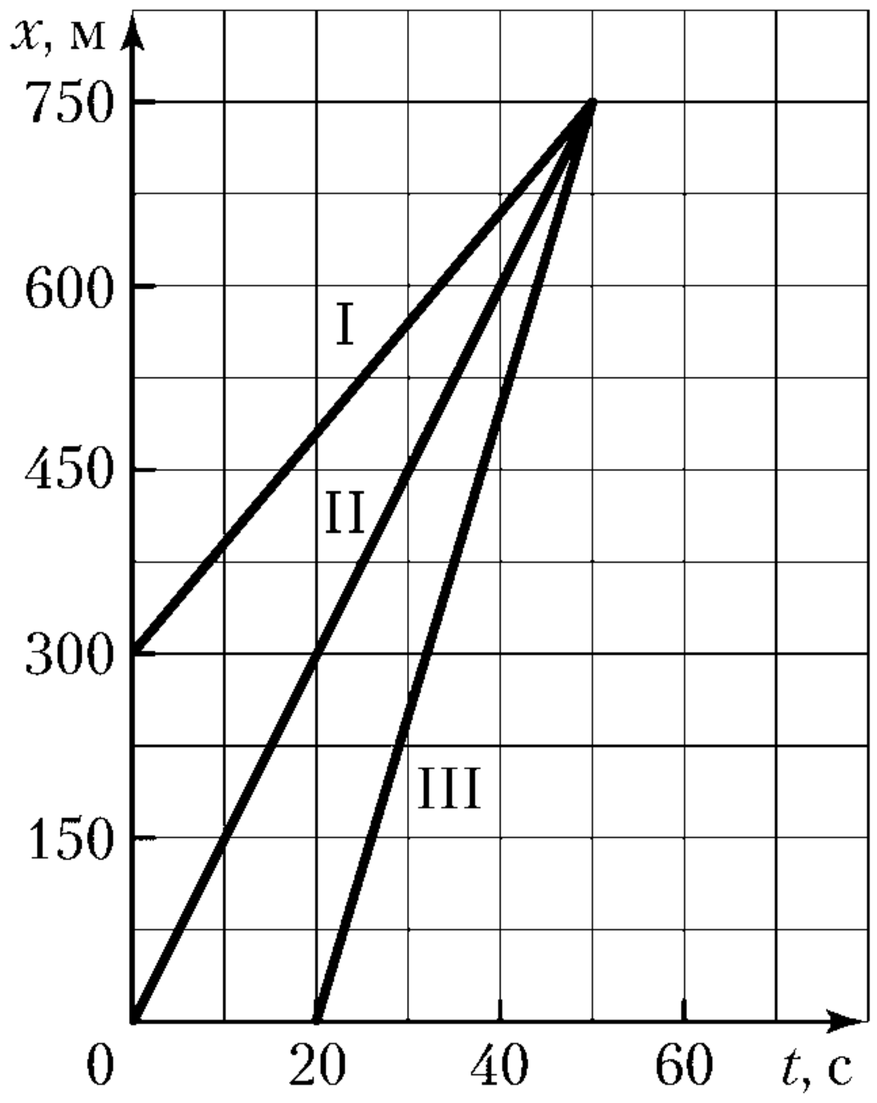


Рис. 28

© MICHAEL GAUTIER

жения первого пешехода к модулю скорости движения второго пешехода. Постройте графики зависимости модуля перемещения от времени для каждого пешехода.

91. На рисунке 29 представлена зависимость координаты от времени движения зайца вдоль оси *Ox*. Определите проекцию скорости движения зайца на каждом участке и промежуток времени, в течение которого заяц находился в движении. Постройте графики зависимости проекции скорости движения зайца и его пути от времени.

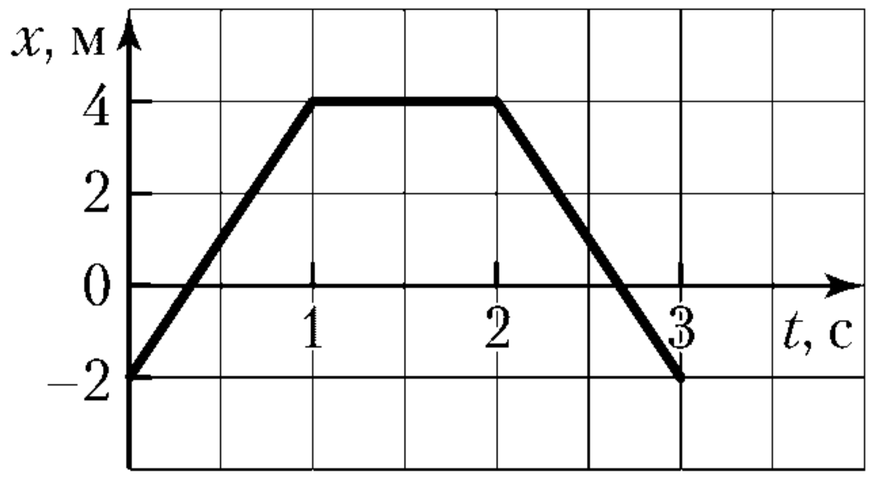


Рис. 29

92. На рисунке 30 изображен график зависимости одной из физических характеристик движения автомобиля от времени. Может ли этот график быть графиком модуля скорости движения автомобиля? Графиком пути? Графиком движения? Почему?

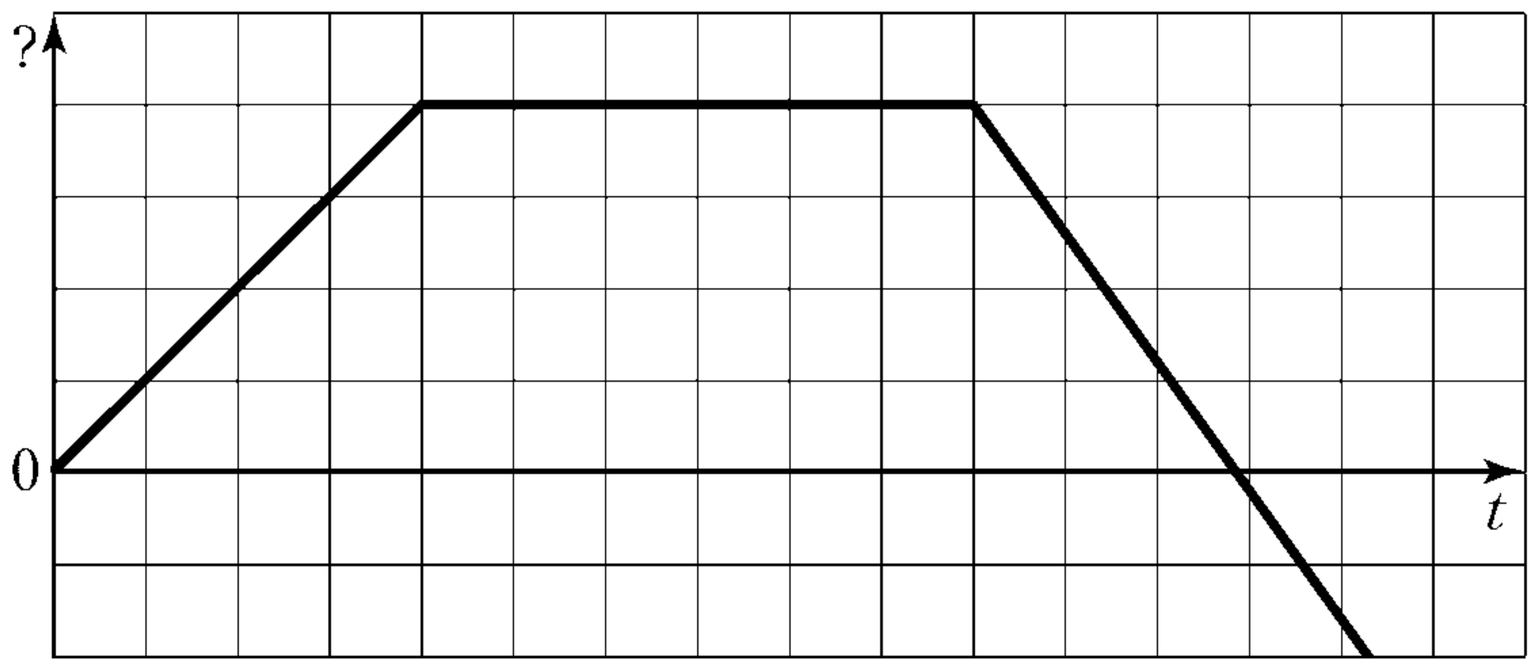


Рис. 30

93. На рисунке 31 представлена зависимость координаты от времени движения мухи вдоль оси *Ox*. Определите проекцию скорости движения мухи на каждом участке и проекцию перемещения мухи за время движения. Постройте график проекции скорости движения мухи.

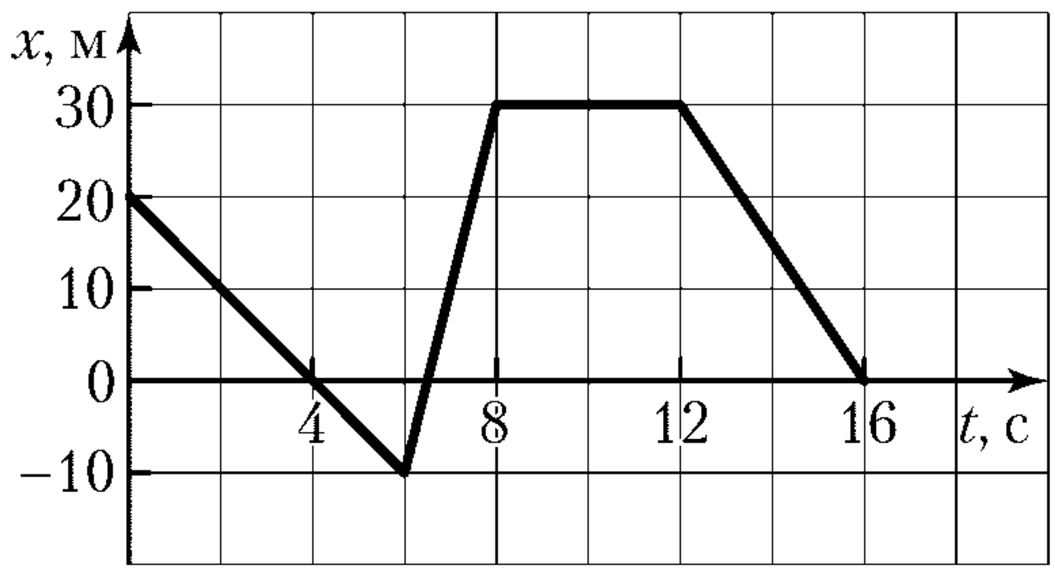


Рис. 31

© MICHAEL GAUTIER

94. На рисунке 32 представлена зависимость координаты от времени движения баскетболиста вдоль оси *Ox*. Какой участок графика соответствует наибольшему модулю скорости движения баскетболиста? Постройте графики модуля скорости, проекции перемещения и пути.

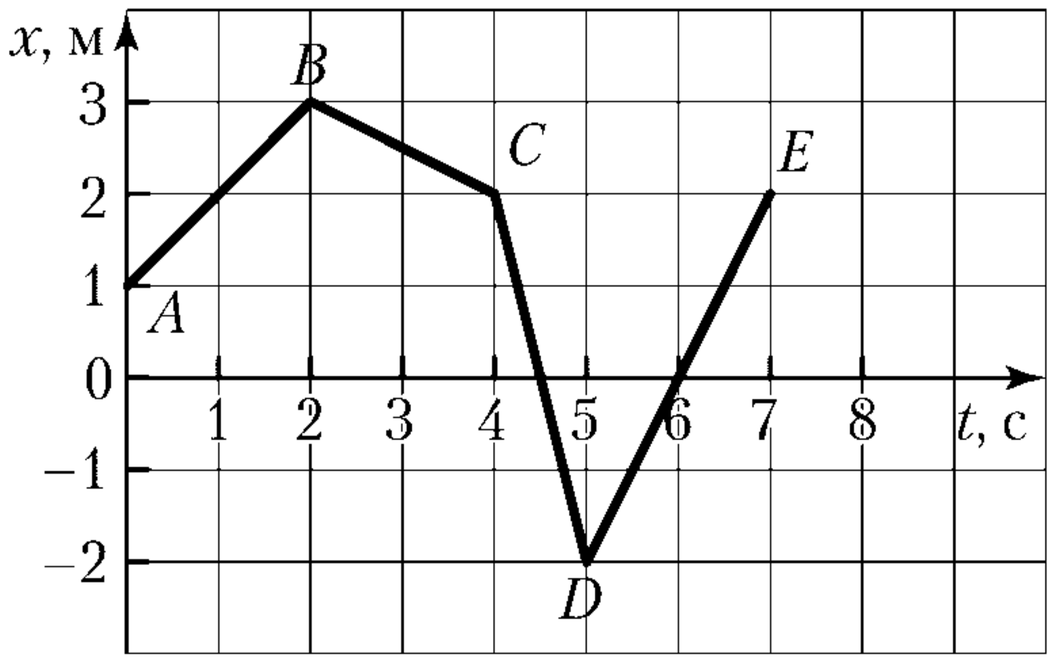


Рис. 32

95. Координата движущегося вездехода зависит от времени так, как изображено на рисунке 33. Постройте график зависимости проекции скорости движения вездехода от времени.

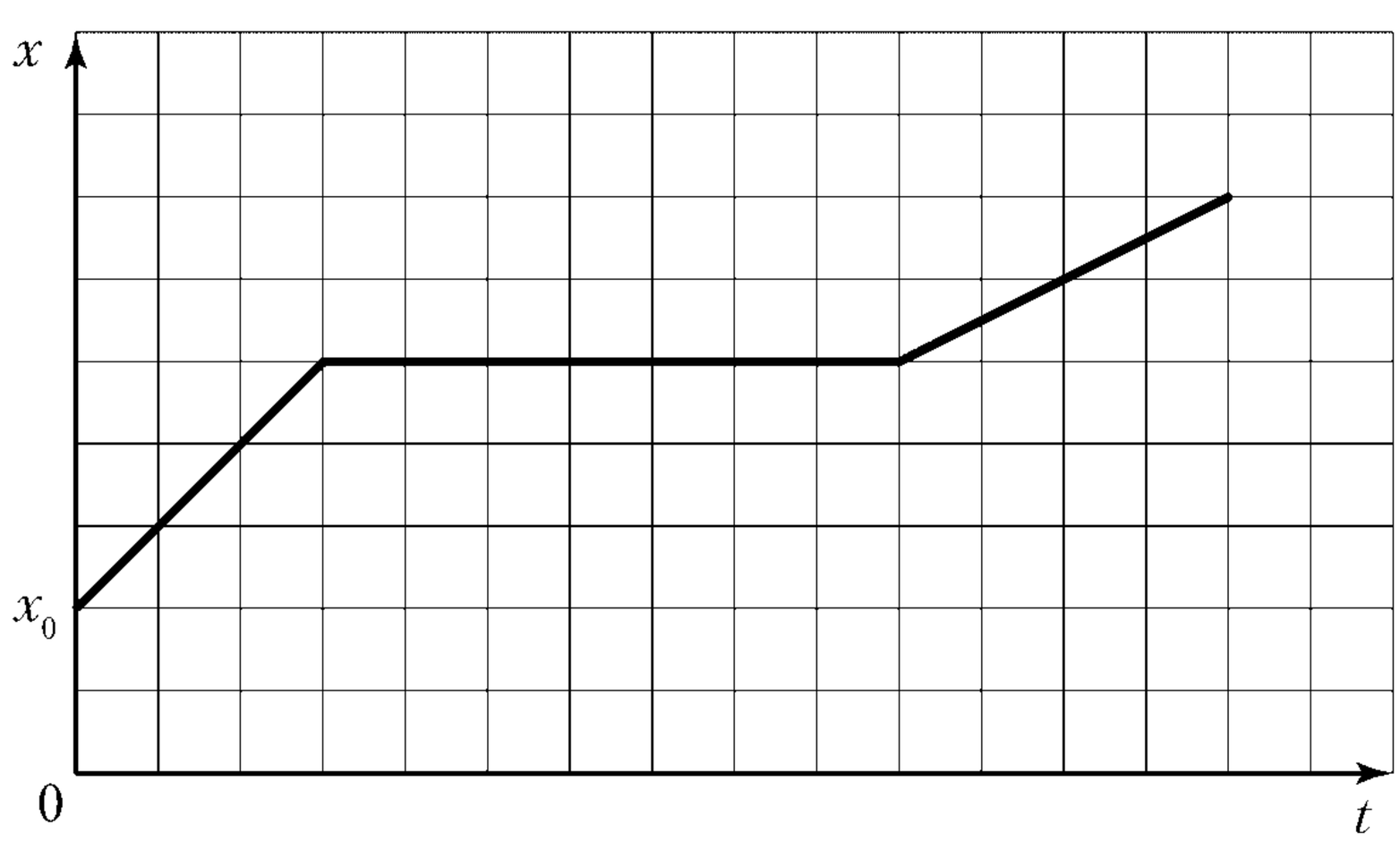


Рис. 33

96. На рисунке 34 изображены графики зависимости проекции скорости движения двух хоккеистов вдоль оси *Ox* от времени. Определите проекцию перемещения каждого хоккеиста за время $t = 8$ с. Запишите уравнение движения каждого хоккеиста, если их начальные координаты: $x_{01} = -2$ м, $x_{02} = 4$ м. Постройте графики движения хоккеистов.

© MICHAEL GAUTIER

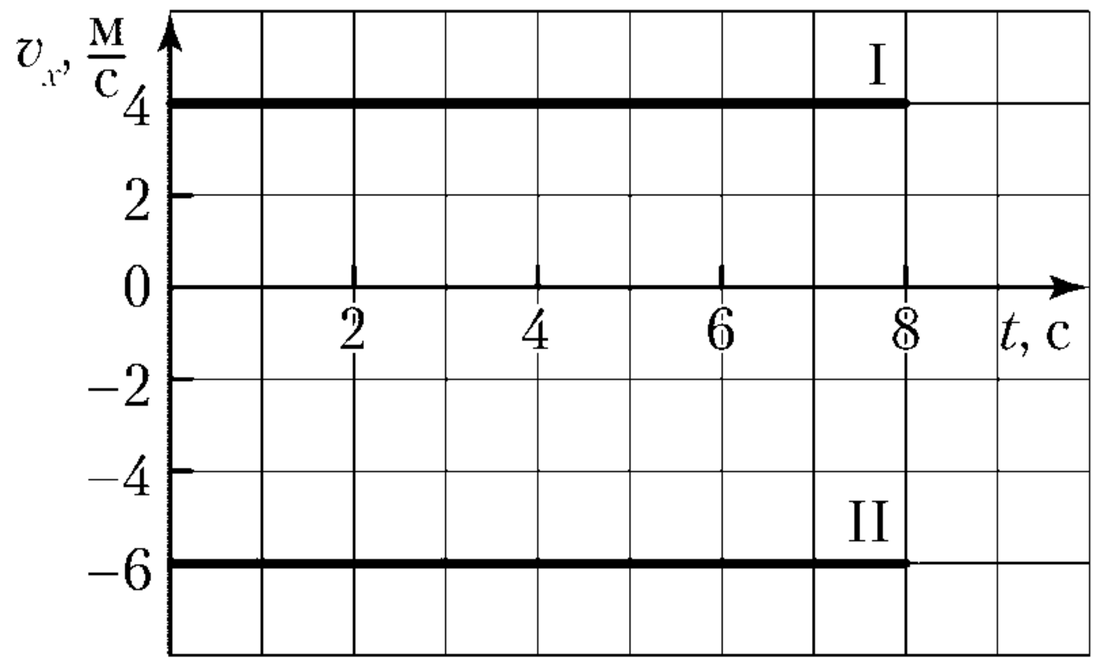


Рис. 34

97. График зависимости проекции скорости движения гандболиста вдоль оси Ox от времени представлен на рисунке 35. Постройте графики проекции перемещения гандболиста и его пути. Определите проекцию перемещения гандболиста за первые 4 с и 10 с движения.

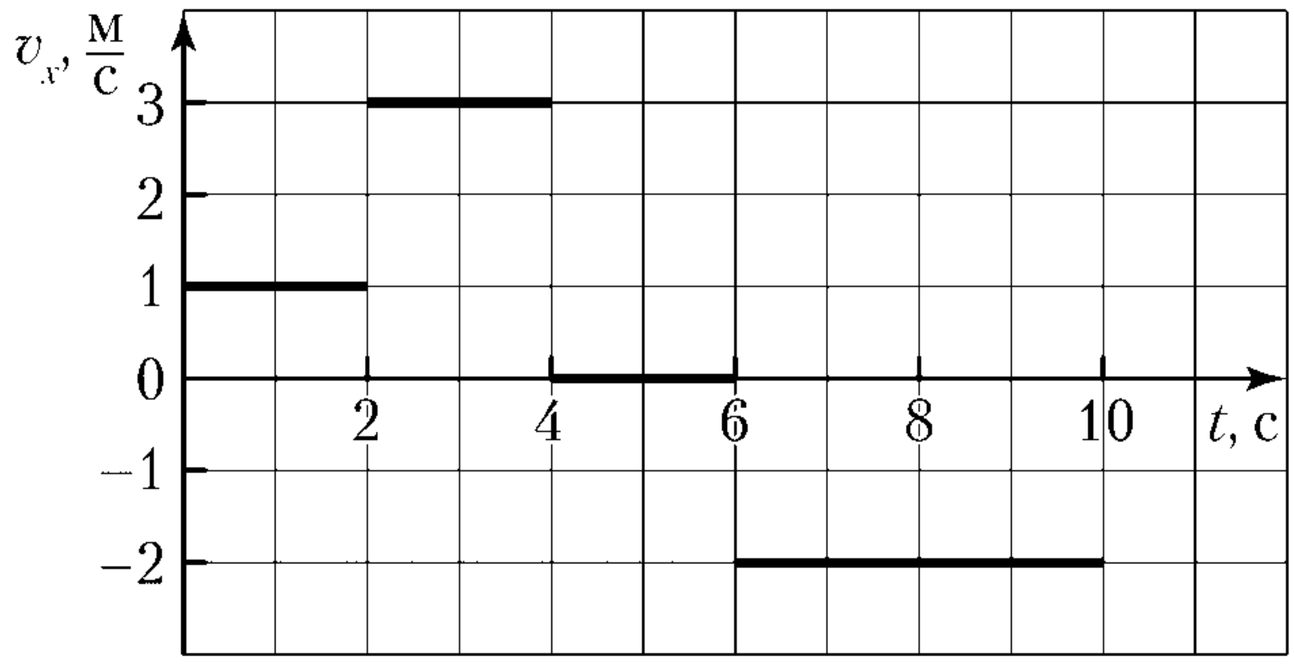


Рис. 35

98. График зависимости проекции скорости движения радиоуправляемого автомобиля вдоль оси Ox от времени представлен на рисунке 36. Опишите движение автомобиля за все время. Исходя из графика проекции скорости, постройте графики проекции перемещения и координаты, приняв $x_0 > 0$.

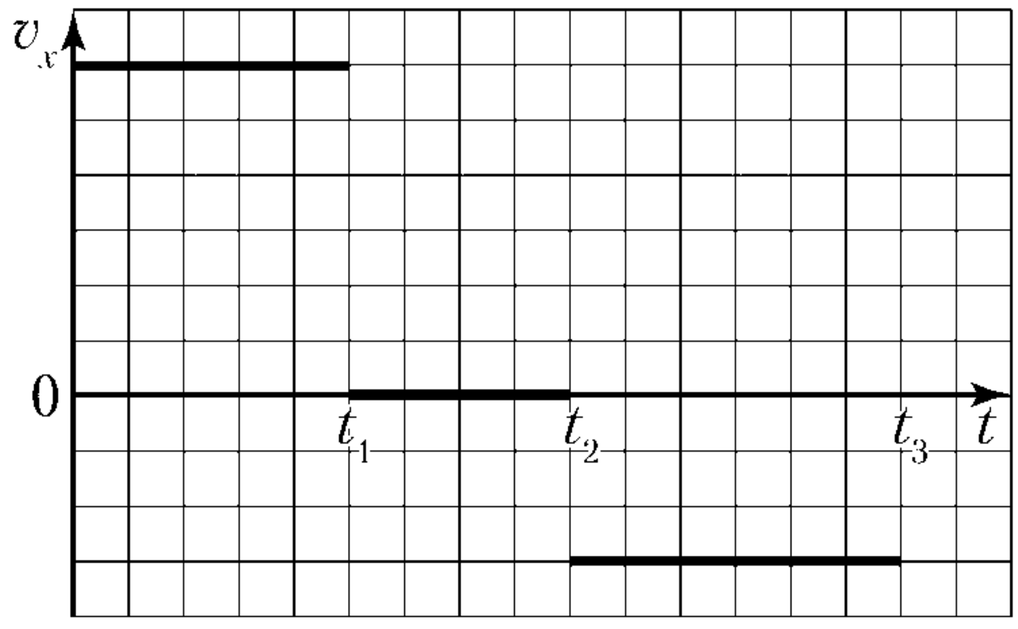


Рис. 36

© MICHAEL GAUTIER

99. Движение байдарки задано уравнениями: $x = A + Bt$ и $y = C + Dt$, где $A = 2$ м, $B = 3\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C = 1$ м, $D = 4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите координаты байдарки в начальный момент времени, модуль скорости ее движения и направление вектора скорости к оси Ox. Запишите уравнение траектории движения байдарки.

100. В начальный момент времени расстояние между пешеходами, равномерно движущимися в одном направлении, $s = 600$ м. Модули скорости движения пешеходов $v_1 = 3{,}5\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ и $v_2 = 5{,}0\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Постройте графики движения пешеходов. Определите по графикам время, через которое один пешеход догонит другого, и координату точки, в которой это произойдет ($x_{02} = 0$).

101. От остановок A и B, расстояние между которыми $l = 2{,}8$ км, одновременно навстречу друг другу равномерно движутся два автобуса: первый со скоростью, модуль которой $v_A = 54{,}0\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, второй — $v_B = 72{,}0\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите, через какое время они встретятся, а также расстояние от остановки A до места их встречи. Решите задачу графически.

102. Два пешехода равномерно движутся навстречу друг другу со скоростями, модули которых $v_1 = 5{,}4\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ и $v_2 = 3{,}6\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Первый пешеход проходит перекресток A на время $t = 1{,}5$ мин раньше, чем второй проходит перекресток B. Расстояние между перекрестками $s = 300$ м. Определите, через какое время встретятся пешеходы.

103. Звук от сверхзвукового самолета, летящего горизонтально, турист, стоящий на вершине отвесной горы, услышал на время t раньше, чем турист, находящийся на одной вертикали у подножия горы. Определите высоту горы, если модули скорости движения самолета и звука постоянны и равны соответственно v_1 и v_2.

104. Спортсмен пробегает три круга по стадиону. На каждом последующем круге модуль скорости его движения на 10 % больше, чем на предыдущем. Сколько времени уйдет на пробег трех кругов, если на третий круг спортсмен затратил время $t_3 = 5{,}0$ мин?

© MICHAEL GAUTIER

105. Двое учащихся, находясь в диаметрально противоположных точках беговой дорожки, начали одновременно движение в одном направлении. Первый, пробежав $N = 4$ полных круга, догнал второго. Определите отношение модулей скорости движения учащихся, считая модули постоянными.

5

Неравномерное движение. Средняя и мгновенная скорость

Физическая величина	Формула	Физический смысл
Средняя скорость пути	$\langle v \rangle = \dfrac{s}{\Delta t}$	Показывает, какой путь в среднем проходило тело за единицу времени
Средняя скорость перемещения	$\langle \vec{v} \rangle = \dfrac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$	Показывает, какое перемещение в среднем совершало тело за единицу времени
Мгновенная скорость	$\vec{v} = \dfrac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ при $\Delta t \to 0$	Скорость движения в данный момент времени (в данной точке траектории)

106. О какой скорости — средней или мгновенной — идет речь в следующих примерах: а) спидометр автомобиля показывает значение модуля скорости $v = 75 \dfrac{\text{км}}{\text{ч}}$; б) лесной пожар распространяется со скоростью, модуль которой $v = 25 \dfrac{\text{км}}{\text{ч}}$; в) ракета достигла скорости, модуль которой $v = 7 \dfrac{\text{км}}{\text{с}}$; г) модуль скорости движения молотка при ударе $v = 8 \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; д) поезд прошел весь путь между городами со скоростью, модуль которой $v = 60 \dfrac{\text{км}}{\text{ч}}$?

© MICHAEL GAUTIER

107. Может ли средняя скорость перемещения автомобиля за какой-то промежуток времени отличаться от нуля, в то время как за более длительный промежуток она равна нулю? Приведите примеры.

108. Может ли средняя скорость перемещения автомобиля быть равной нулю за данный промежуток времени, если за более длительный промежуток она не была равна нулю? Аргументируйте ответ.

109. Автомобиль каждый час проходил путь $s = 60$ км. Можно ли утверждать, что его движение было равномерным?

110. Отличается ли средняя скорость комбайна от мгновенной, если он движется равномерно? Почему?

111. Может ли быть переменным модуль скорости перемещения тела, если скорость пути постоянна? Приведите примеры.

112. Может ли быть переменной скорость пути, если модуль скорости перемещения тела постоянен? Аргументируйте ответ.

113. Предложите пассажиру, сидящему в вагоне поезда, различные возможные способы определения средней скорости движения поезда.

114. Человек прошел первую часть пути $s_1 = 3{,}2$ км за время $t_1 = 28$ мин, вторую часть $s_2 = 1{,}6$ км — за время $t_2 = 20$ мин. Определите среднюю скорость пути за все время движения человека.

115. Первую часть дистанции конькобежец пробежал за время $t_1 = 20$ с со скоростью, модуль которой $v_1 = 7{,}6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, вторую — за время $t_2 = 36$ с со скоростью, модуль которой $v_2 = 9{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль средней скорости движения конькобежца на всей дистанции.

116. Самолет пролетает путь $s_1 = 500$ км с постоянной скоростью $v_1 = 1000 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, а затем попадает в зону действия встречного ветра и пролетает путь $s_2 = 1200$ км с постоянной скоростью $v_2 = 800 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите среднюю скорость пути за весь перелет.

© MICHAEL GAUTIER

117. Мотоциклист проехал путь $s_1 = 20$ км за время $t_1 = 30$ мин, а далее ехал со скоростью $v_2 = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ в течение времени $t_2 = 1{,}5$ ч. Определите среднюю скорость движения мотоциклиста на всем пути.

118. Велосипедист проехал путь $s_1 = 10$ км со скоростью $v_1 = 20 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, после чего путь $s_2 = 50$ км проехал за время $t_2 = 2{,}0$ ч. Определите среднюю скорость движения велосипедиста на всем пути.

119. Спортсмен пробегает $N = 10$ полных кругов по беговой дорожке длиной $l = 0{,}33$ км за время $t = 11$ мин. Определите модуль средней скорости перемещения спортсмена и среднюю скорость пути на всей дистанции.

120. Путь между начальной и конечной станциями маршрута автобуса $s = 210$ км. Определите время, которое тратит автобус на остановки на промежуточных станциях, если средняя скорость его движения без учета остановок $\langle v_1 \rangle = 50 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, а средняя скорость пути с учетом остановок $\langle v_2 \rangle = 42 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

121. На рисунке 37 представлен график движения велосипедиста вдоль оси Ox. Определите модуль средней скорости перемещения велосипедиста в течение: а) первой секунды; б) пятой секунды; в) всего времени движения.

122. График зависимости проекции скорости движущегося вертолета вдоль оси Ox от времени представлен на рисунке 38. Определите среднюю скорость пути за время движения вертолета $t = 5$с.

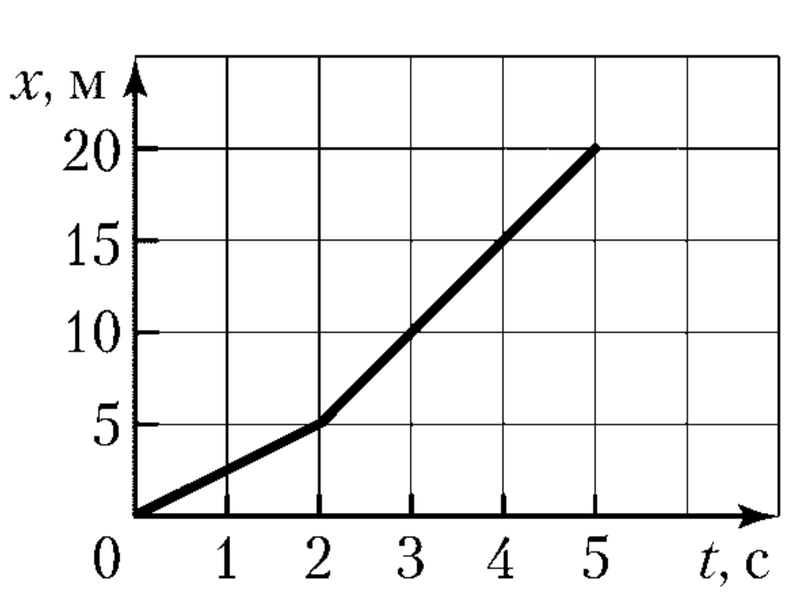


Рис. 37

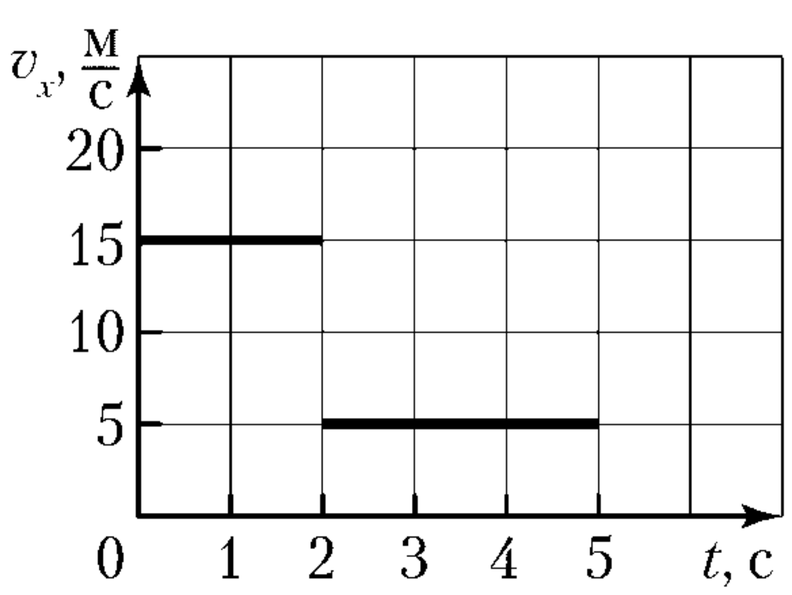


Рис. 38

© MICHAEL GAUTIER

123. На рисунке 39 изображен график зависимости от времени проекции скорости движущегося вдоль оси Ox квадрокоптера. Определите среднюю скорость пути и модуль средней скорости перемещения квадрокоптера за время $t = 5$ с.

124. На рисунке 40 представлен график зависимости скорости движения катера от времени. Определите среднюю скорость движения катера на первой половине пути.

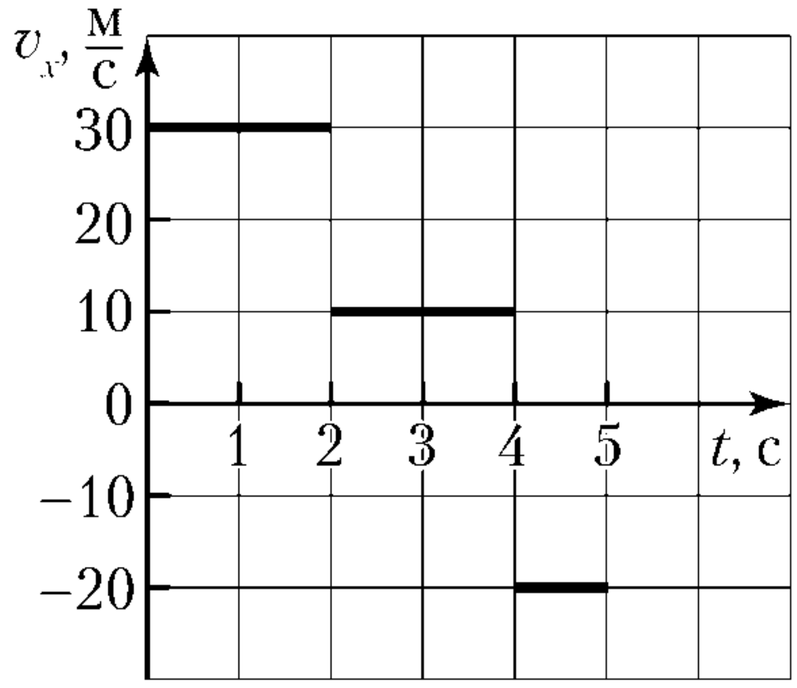


Рис. 39

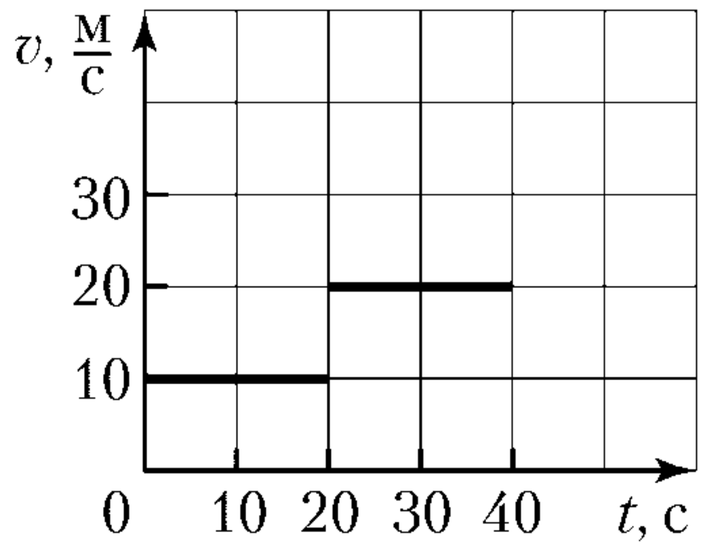


Рис. 40

125. Грузовой поезд, проехав путь $s_1 = 140$ км со средней скоростью $\langle v_1 \rangle = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, остановился на время $t = 20$ мин. Оставшуюся часть пути $s_2 = 96$ км он проехал со средней скоростью $\langle v_2 \rangle = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите среднюю скорость движения поезда на всем пути.

126. Автомобиль, двигаясь прямолинейно, первую половину времени ехал по шоссе с постоянной скоростью, модуль которой $v_1 = 100 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, вторую — с постоянной скоростью, модуль которой $v_2 = 80 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите модуль средней скорости перемещения автомобиля за все время движения.

127. Путь $s_1 = 5{,}4$ км от дачи до станции дачник прошел со скоростью $v_1 = 6{,}0 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Далее он ехал на электричке, средняя скорость которой $\langle v_2 \rangle = 50 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите путь, который проехал дачник на электричке, если средняя скорость движения дачника на всем пути $\langle v \rangle = 32 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

© MICHAEL GAUTIER

128. Турист часть пути ехал на велосипеде со скоростью $v_1 = 20\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, затратив на это время $t_1 = 30$ мин. Затем некоторое время он ехал на автомобиле со скоростью $v_2 = 60\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите время, в течение которого турист ехал на автомобиле, если средняя скорость на всем пути $\langle v \rangle = 56\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

129. Скутер должен проехать маршрут за время $t_0 = 40$ мин. На рисунке 41 представлен график зависимости пути от времени движения скутера в течение времени $t_1 = 30$ мин. Определите скорость, с которой должен двигаться скутер в течение последних $t_2 = 10$ мин, чтобы средняя скорость пути на всем маршруте была $\langle v \rangle = 25\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

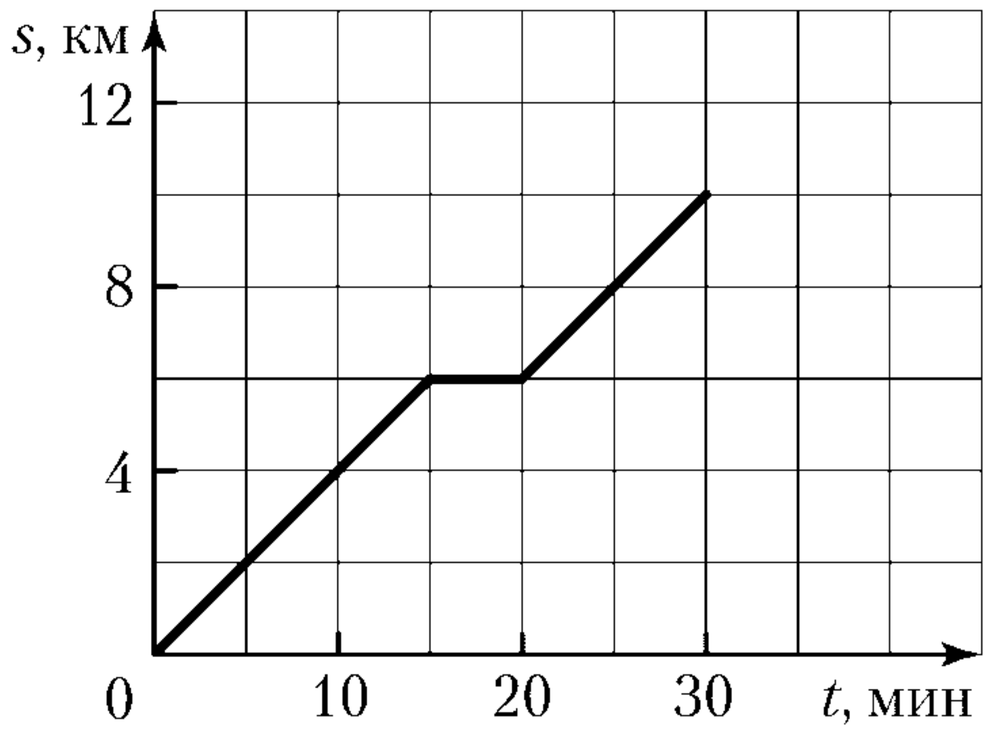


Рис. 41

130. Пешеход первую часть пути прошел со скоростью $v_1 = 3{,}6\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, вторую — со скоростью $v_2 = 5{,}1\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите среднюю скорость движения пешехода на всем пути, если на первую часть он затратил в 2 раза больше времени, чем на вторую.

131. Средняя скорость пути лыжника на первой половине дистанции была в $k = 3$ раза больше, чем на второй. Какая средняя скорость движения лыжника на первой половине дистанции, если средняя скорость его движения на всей дистанции $\langle v \rangle = 6{,}0\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$?

132. На первой половине пути автобус двигался со скоростью в $k = 2$ раза большей, чем на второй. Средняя скорость движения автобуса на всем пути $\langle v \rangle = 64\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите скорость движения автобуса на каждой половине пути.

© MICHAEL GAUTIER

133. Идя из дома в школу, ученик первую половину пути шел с постоянной скоростью v, а вторую половину — со скоростью $2v$. Определите модуль скорости перемещения, с которой ученик шел из дома в школу. Движение ученика считать прямолинейным.

134. Теплоход плывет равномерно по реке от пристани A до пристани B со скоростью, модуль которой $v_1 = 21{,}0\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ относительно берега, а обратно — со скоростью, модуль которой относительно берега $v_2 = 15{,}0\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите среднюю скорость пути теплохода.

135. Путешественник преодолел путь $s = 24$ км за время $t = 1{,}0$ ч. Первую половину пути он ехал на автомобиле, а вторую — на велосипеде. Определите скорость движения путешественника на велосипеде, если скорость движения на автомобиле в $k = 4$ раза больше скорости движения на велосипеде.

136. Вездеход проехал половину пути с постоянной скоростью $v_1 = 10{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Затем половину оставшегося времени движения он ехал с постоянной скоростью $v_2 = 8{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а на последнем участке пути — с постоянной скоростью $v_3 = 12{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите среднюю скорость пути вездехода.

137. Собака, убегая от своего хозяина, проделала путь $s_1 = 200$ м за время $t = 25$ с, а затем за одну треть такого же времени пробежала половину пути обратно. Определите среднюю скорость пути и модуль средней скорости перемещения собаки в течение всего времени ее движения. Траекторию движения собаки от хозяина и обратно считать прямолинейной.

138. Африканский страус развил максимальную скорость $v_1 = 80\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, и с этой скоростью он пробежал $\frac{3}{4}$ пути, а последнюю четверть пути страус бежал со скоростью $v_2 = 40\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите среднюю скорость движения страуса на всем пути.

139. Какая из лодок проплывет свой маршрут быстрее: та, которая одну половину времени движется со скоростью v_1, а дру-

© MICHAEL GAUTIER

гую — со скоростью v_2, или та, которая первую половину пути движется со скоростью v_1, а вторую — со скоростью v_2?

140. При квалификационных заездах перед соревнованиями автогонщик должен за $N = 4$ круга показать среднюю скорость пути $\langle v \rangle = 200 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Из-за сбоев в работе двигателя средняя скорость на первых двух кругах оказалась $\langle v_1 \rangle = 180 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите среднюю скорость пути, которую должен развить автогонщик на последних двух кругах, чтобы выполнить норматив.

141. Первую треть пути черепаха проползла равномерно за время $t_1 = 1$ ч, вторую треть — тоже равномерно, но за время $t_2 = 2$ ч, третью — равномерно за время $t_3 = 3$ ч. Во сколько раз средняя скорость на первой половине пути больше, чем на второй?

142. Автомобиль в течение времени $t_1 = 2{,}0$ мин совершил перемещение, модуль которого $\Delta r_1 = 3{,}0$ км. Затем, повернув под прямым углом, он совершил перемещение, модуль которого $\Delta r_2 = 4{,}0$ км. Во сколько раз отличается средняя скорость пути от модуля средней скорости перемещения автомобиля за все время движения? Модуль скорости движения автомобиля на всем пути считать постоянным.

143. Велосипедист проехал равномерно путь $l_1 = 3$ км со скоростью $v_1 = 12 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, затем повернул и проехал некоторый путь в перпендикулярном направлении со скоростью $v_2 = 16 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Чему равен модуль перемещения велосипедиста, если средняя скорость пути за все время движения $\langle v \rangle = 14 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$?

144. Первую половину времени мотоциклист двигался с постоянной скоростью, модуль которой $v_1 = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, под углом $\alpha = 60°$ к шоссе, вторую половину времени — под углом $\beta = 150°$ к тому же шоссе с постоянной скоростью, модуль которой $v_2 = 16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль средней скорости перемещения мотоциклиста в течение всего времени.

© MICHAEL GAUTIER

145. Первую треть пути лесник прошел равномерно со скоростью $v_1 = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, остальную часть пути — со скоростью $v_2 = 1{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите среднюю скорость движения лесника на первой и второй половинах пути. Определите среднюю скорость пути за первую половину всего времени движения лесника.

146. Первую половину пути автомобиль проехал со скоростью $v_1 = 60\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, потом в течение времени t = 1,0 ч простоял на станции техобслуживания. Оставшуюся часть пути автомобиль проехал со скоростью $v_2 = 90\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите время, которое затратил автомобиль на весь путь, если средняя скорость пути на всем маршруте автомобиля $\langle v \rangle = 60\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

147. (о) Оцените среднюю скорость вытекания воды из крана при заполнении трехлитровой банки.

148. (о) Оцените среднюю скорость движения кабины лифта в подъезде вашего дома.

149. (э) Имея измерительную ленту, часы с секундной стрелкой (секундомер) и заводную игрушку, определите среднюю скорость ее движения.

6

Сложение скоростей

Физический закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Закон сложения скоростей	$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}_{12}$	$\vec{v}_2$ — скорость тела относительно неподвижной системы отсчета; $\vec{v}_1$ — скорость тела относительно движущейся системы отсчета; $\vec{v}_{12}$ — скорость движущейся системы отсчета относительно неподвижной

© MICHAEL GAUTIER

150. Поезд перед остановкой движется со скоростью, модуль которой $v_1 = 2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ относительно поверхности земли. Определите модуль скорости, с которой должен идти пассажир по вагону поезда, чтобы оставаться неподвижным относительно поверхности земли.

151. Два катера движутся по озеру со скоростями, модули которых $v_1 = 56\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ и $v_2 = 42\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите модуль скорости второго катера относительно первого, если катера движутся: а) в одном направлении; б) навстречу друг другу; в) во взаимно перпендикулярных направлениях.

152. Два мотоциклиста движутся по прямолинейной автотрассе в одном направлении с постоянными скоростями, модули которых $v_1 = 18\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $v_2 = 24\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Через какое время второй мотоциклист, который едет позади, догонит первого, если первоначальное расстояние между ними $l = 570$ м?

153. Вертолет летит на север со скоростью, модуль которой относительно воздуха постоянен и равен $v_0 = 60\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. С севера на юг дует ветер со скоростью, модуль которой $v_1 = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите время, за которое вертолет пролетит путь $s = 7{,}2$ км.

154. Два поезда движутся по параллельным путям навстречу друг другу со скоростями, модули которых постоянны и равны $v_1 = 108\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ и $v_2 = 126\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Пассажир, находящийся в первом поезде, заметил, что второй поезд проходит мимо него в течение времени $t = 6{,}00$ с. Определите длину второго поезда.

155. Два поезда длиной $l_1 = 300$ м и $l_2 = 420$ м движутся по параллельным путям: один — с постоянной скоростью, модуль которой $v_1 = 72{,}0\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, другой — $v_2 = 90{,}0\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите время, в течение которого один поезд будет проходить мимо другого, если поезда движутся: а) в одном направлении; б) в противоположных направлениях.

© MICHAEL GAUTIER

156. Две электрички движутся по параллельным путям навстречу друг другу. Модули скорости их движения постоянны и равны $v_1 = 16\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $v_2 = 28\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. В первой электричке число вагонов $N_1 = 12$, во второй — $N_2 = 10$. Длина каждого вагона $l = 18$ м. За какое время одна электричка пройдет мимо другой?

157. Пассажир автобуса, движущегося равномерно со скоростью, модуль которой $v_1 = 90\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, заметил, что встречный автофургон длиной $l = 20$ м проехал мимо него за время $t = 0{,}50$ с. Определите модуль скорости равномерного движения автофургона относительно: а) пассажира; б) поверхности земли. За какое время автофургон проедет мимо пассажира, если автобус и автофургон будут двигаться в одном направлении с прежними скоростями?

158. Автомобиль, двигаясь равномерно со скоростью $v_1 = 24\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, за время $t_1 = 10$ с прошел такой же путь, как и автобус, двигавшийся в том же направлении с постоянной скоростью, за время $t_2 = 15$ с. Определите модуль скорости движения автомобиля относительно автобуса.

159. Используя графики (рис. 42) зависимости пути от времени движения моторной лодки относительно воды (I) и движения воды в реке относительно берега (II), определите скорость движения лодки вверх и вниз по реке относительно берега.

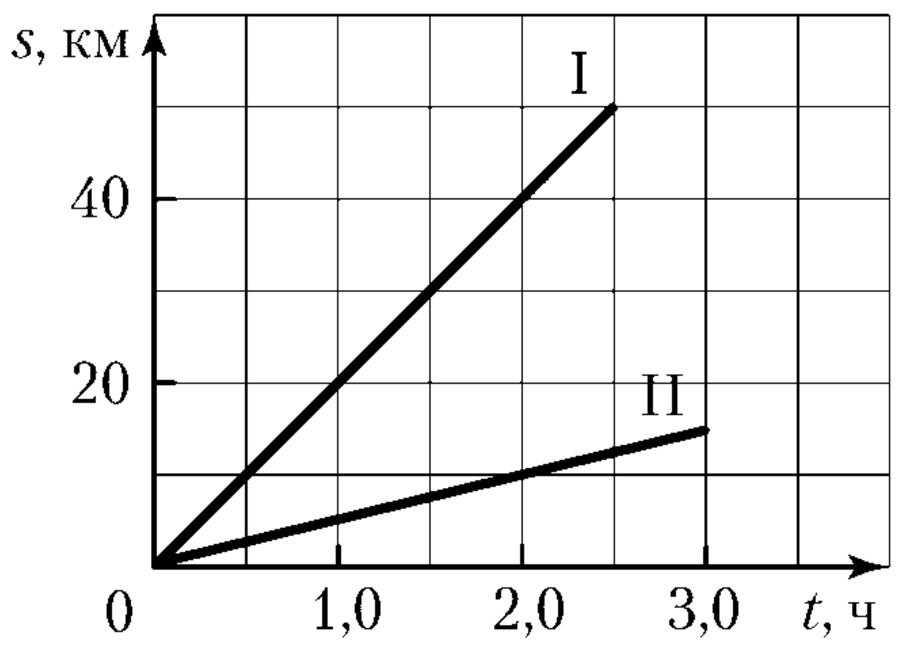


Рис. 42

160. Теплоход совершил два рейса: один — вниз по течению реки, другой — вверх против ее течения. Используя графики (рис. 43) зависимости скорости движения теплохода относительно берега от пути, пройденного теплоходом, определите скорость теплохода относительно воды.

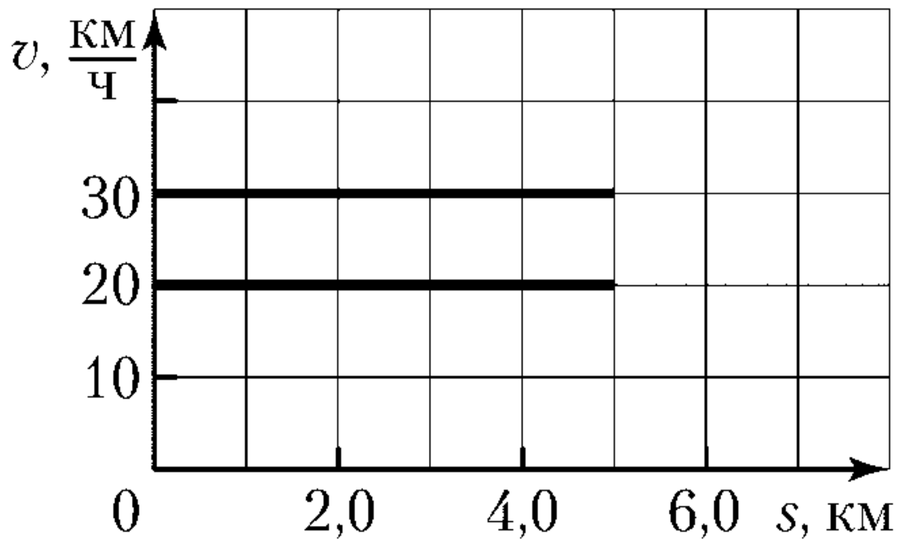


Рис. 43

© MICHAEL GAUTIER

161. На рисунке 44 представлены графики I и II путей движения яхты по течению реки и против течения. Определите модуль скорости течения воды, если модуль скорости движения яхты относительно воды постоянен.

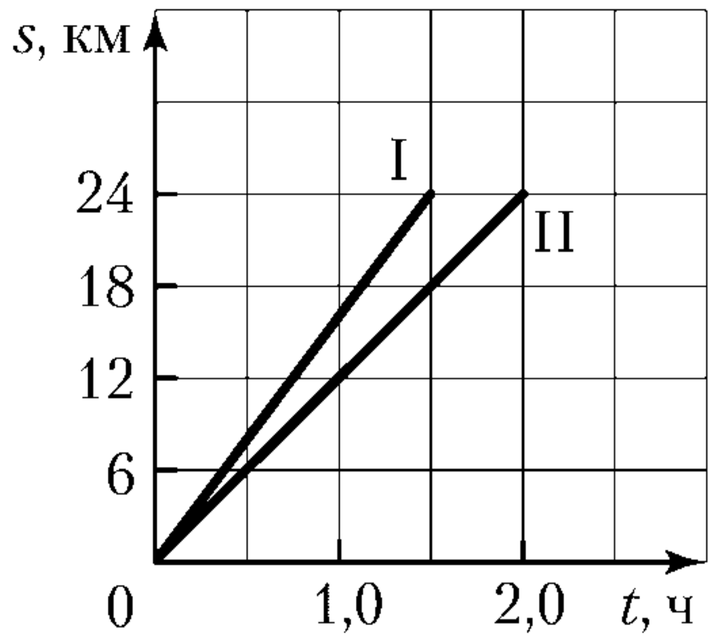


Рис. 44

162. Кинематические законы движения двух материальных точек, движущихся вдоль оси Ox, имеют вид: $x_1 = A_1 + B_1 t$, $x_2 = A_2 + B_2 t$, где $A_1 = -2{,}5$ км, $B_1 = 25\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $A_2 = 1{,}5$ км, $B_2 = -14\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль их относительной скорости.

163. Графики движения двух пешеходов представлены на рисунке 45. Определите модуль скорости их движения относительно друг друга.

164. Велосипедист и мотоциклист движутся равномерно в одном направлении. Зависимость модуля скорости движения мотоциклиста относительно велосипедиста от времени представлена на рисунке 46. Постройте график зависимости модуля скорости движения мотоциклиста относительно дороги, если модуль скорости равномерного движения велосипедиста относительно дороги $v_в = 20\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

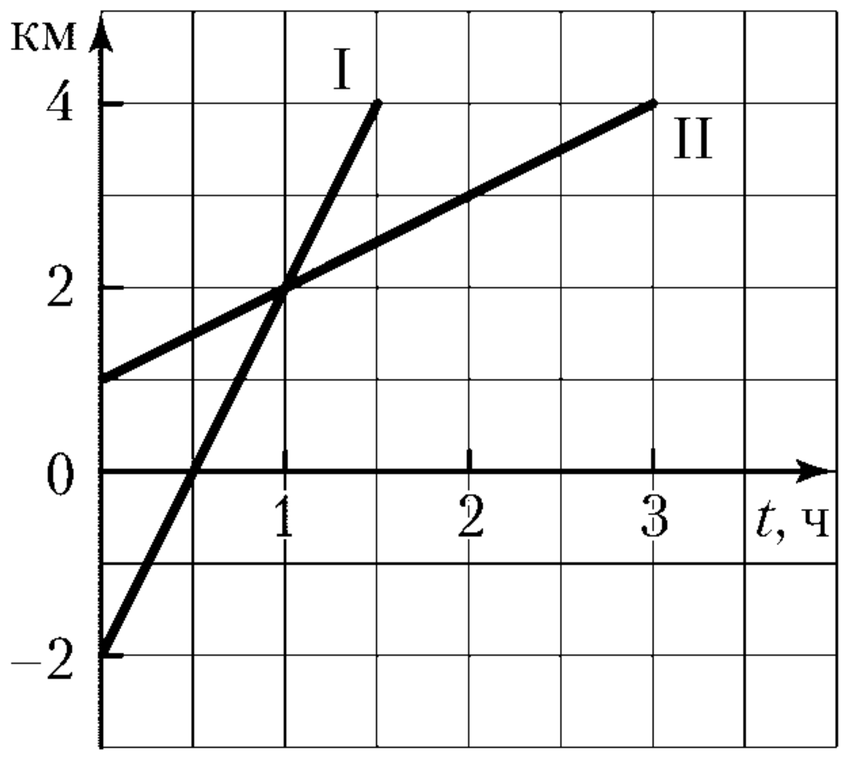


Рис. 45

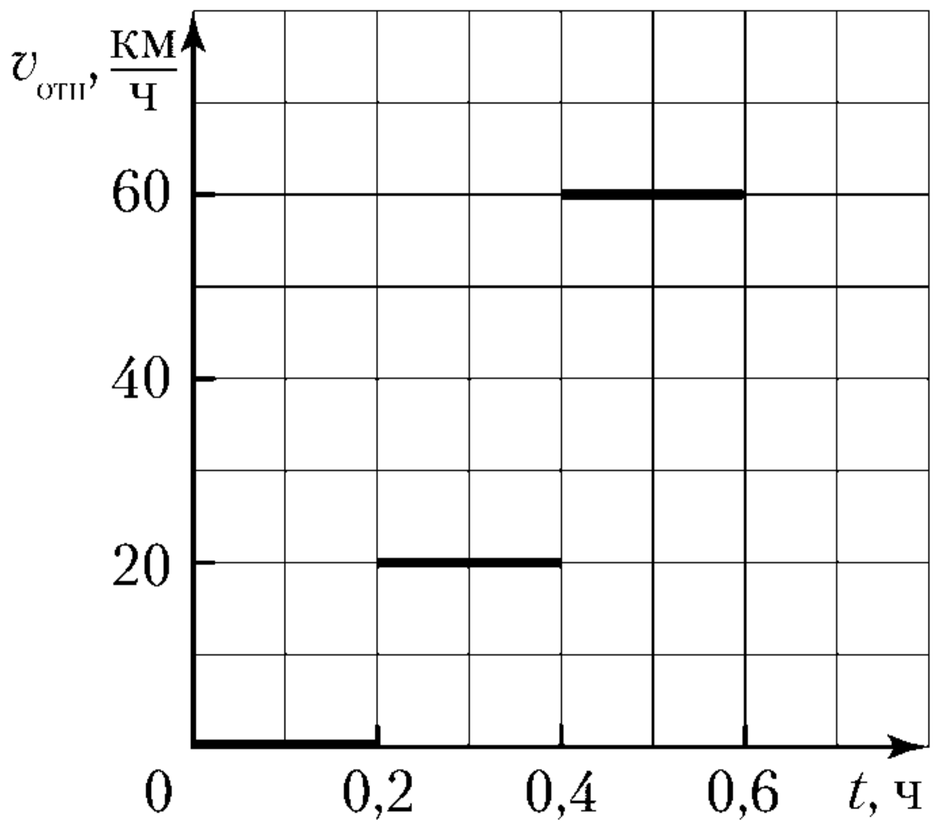


Рис. 46

© MICHAEL GAUTIER

165. Путь между городом и поселком, расположенным ниже по течению реки, моторная лодка проплыла за время $t_1 = 1{,}5$ ч. За какое время лодка проплывет обратный путь, если скорость ее движения относительно воды в $n = 4$ раза больше скорости течения воды?

166. Катер проплывает путь $s = 4{,}0$ км от одного моста до другого по течению реки за время $t_1 = 0{,}5$ ч. За какое время катер проплывет этот же путь в обратном направлении, если модуль скорости течения воды $v_1 = 2{,}0 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$? Модуль скорости движения катера относительно воды считать постоянным.

167. Из Минска в Молодечно через промежуток времени $\Delta t_1 = 30$ мин друг за другом вышли два электропоезда с одинаковыми скоростями, модули которых постоянны и равны $v_1 = v_2 = 36 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите модуль скорости движения встречного пассажирского поезда, который встретил эти электропоезда через промежуток времени $\Delta t_2 = 12$ мин один за другим.

168. Во сколько раз отличаются промежутки времени, которые затратит лодочник, чтобы проплыть один и тот же путь туда и обратно по озеру и по реке, если модуль скорости движения лодки относительно воды в обоих случаях $v_л = 2{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а модуль скорости течения воды в реке $v_т = 1{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$?

169. Катер совершил рейс до пристани и обратно по озеру, а лодка проплыла такой же путь вниз и вверх по реке. Время, затраченное лодкой на поездку туда и обратно, оказалось на $\frac{1}{8}$ больше времени, затраченного на рейс катером. Определите модуль скорости движения катера, если модуль скорости течения воды в реке $v_т = 1{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Скорости катера и лодки относительно воды одинаковы.

170. Время движения катера от пристани A до пристани B вниз по течению реки равно t_1, а обратно при той же скорости движения относительно воды — t_2.

Определите:

а) отношение скорости движения катера относительно воды к скорости течения воды в реке;

© MICHAEL GAUTIER

б) за какое время проплывет путь $s = AB$ спасательный круг, упавший в реку;

в) за какое время проплыл бы путь $s = AB$ катер в покоящейся воде.

171. Человек, идущий вниз по опускающемуся эскалатору метро, спускается за время $t_1 = 60$ с. Если человек будет идти вдвое быстрее, то спустится за время $t_2 = 45$ с. Сколько времени он будет спускаться, стоя на эскалаторе?

172. Мальчик дважды пробежал по движущемуся эскалатору метро и посчитал ступеньки. В первый раз он насчитал $N_1 = 40$ ступенек, во второй раз, двигаясь в ту же сторону со скоростью втрое большей, он насчитал $N_2 = 60$ ступенек. Сколько ступенек он насчитает на неподвижном эскалаторе?

173. Турист плывет на моторной лодке против течения реки. Проплывая мимо одного из причалов, он теряет спасательный круг. Через четверть часа ($t = 15$ мин) турист обнаруживает пропажу, поворачивает назад и догоняет круг на расстоянии $s = 2{,}0$ км от причала, у которого он потерял круг. Определите модуль скорости течения воды, если мощность двигателя лодки постоянна.

174. В момент, когда мимо пристани A проплывает плот, к пристани B, расположенной на расстоянии $s_1 = 15$ км вниз по течению реки, отправляется моторная лодка. Она доходит до пристани B за время $t = 45$ мин и, сразу повернув обратно, встречает плот на расстоянии $s_2 = 9{,}0$ км от пристани B. Определите модули скорости течения воды относительно берега и лодки относительно воды.

175. Вертолет в безветренную погоду летел на север со скоростью, модуль которой $v_1 = 48 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ относительно поверхности земли. Определите модуль скорости, с которой будет лететь вертолет относительно поверхности земли, если подует западный ветер со скоростью, модуль которой $v_2 = 14 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

176. Кран равномерно поднимает вертикально вверх груз со скоростью, модуль которой $v_1 = 0{,}4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, и одновременно прямолинейно

© MICHAEL GAUTIER

движется по горизонтальным рельсам со скоростью, модуль которой $v_2 = 0{,}3\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль перемещения груза относительно поверхности земли за время $t = 8$ с.

177. Пловец переплывает реку шириной $l_1 = 40$ м, выдерживая направление перпендикулярно скорости течения воды. При этом его сносит вниз по течению на расстояние $l_2 = 30$ м. Определите модуль скорости пловца относительно берега, если модуль скорости течения воды $v_1 = 1{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

178. Пловец переплывает реку перпендикулярно берегу с постоянной скоростью, модуль которой $v_1 = 1{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ относительно воды, и оказывается на противоположном берегу через время $t = 1{,}5$ мин. Модуль скорости течения воды $v_2 = 0{,}60\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите ширину реки.

179. Если автобус стоит на остановке, капли дождя оставляют на боковом стекле вертикальные следы, а если он едет со скоростью, модуль которой $v_1 = 72\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, следы капель наклонены под углом $\alpha = 45°$ к вертикали. Определите модуль скорости падения капель относительно земли.

180. Плот равномерно плывет по реке со скоростью, модуль которой $v_1 = 1{,}2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Человек движется поперек плота. На рисунке 47 изображен график зависимости от времени модуля скорости движения человека относительно берега. Постройте графики зависимости от времени пути, пройденного человеком относительно плота и относительно берега.

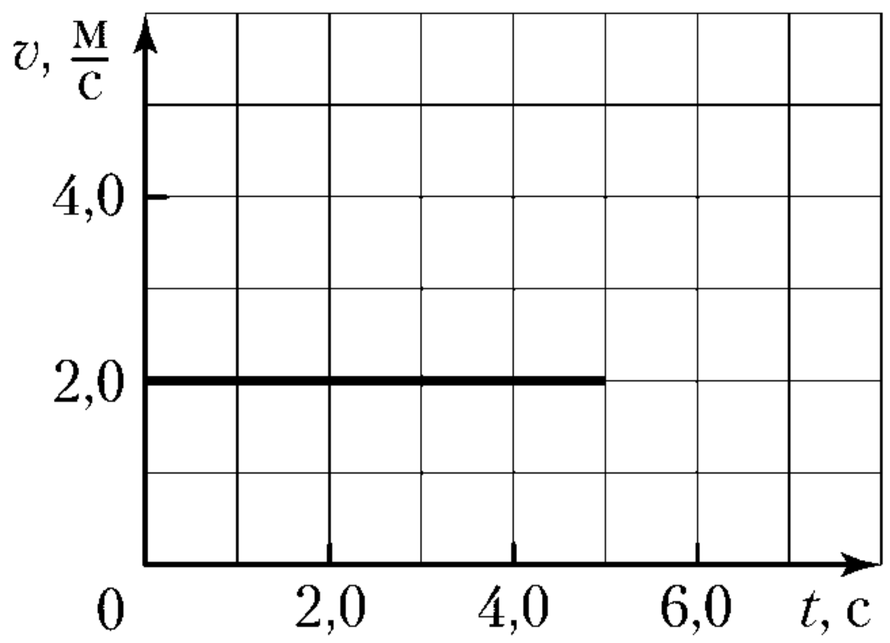


Рис. 47

181. Первый рыбак плывет по озеру вдоль берега со скоростью, модуль которой $v_1 = 1{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ относительно берега. Второй рыбак плы-

© MICHAEL GAUTIER

вет перпендикулярно берегу со скоростью, модуль которой $v_2 = 2{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ относительно первого рыбака. Определите модуль скорости второго рыбака относительно берега.

182. Поезд движется на юг со скоростью, модуль которой $v_1 = 27\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Летчик, находящийся в вертолете, определил, что поезд относительно вертолета движется на восток со скоростью, модуль которой $v_2 = 36\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль скорости вертолета относительно поверхности земли.

183. В безветренную погоду вертолет летит со скоростью, модуль которой $v_1 = 108\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, точно на север. Определите модуль скорости и курс вертолета, если подует северо-западный ветер под углом $\alpha = 45°$ к меридиану. Модуль скорости ветра $v_2 = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

184. Самолет за время $t = 2{,}0$ ч должен пролететь точно на север путь $s = 576$ км. Во время полета дует северо-западный ветер под углом $\alpha = 60°$ к меридиану со скоростью, модуль которой $v_1 = 18\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите модуль скорости полета самолета относительно воздуха и направление его полета относительно меридиана.

185. Корабль движется равномерно вдоль экватора на восток со скоростью, модуль которой $v_1 = 25\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. С юго-востока под углом $\alpha = 60°$ к экватору дует ветер со скоростью, модуль которой $v_2 = 15\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите модуль скорости ветра относительно корабля.

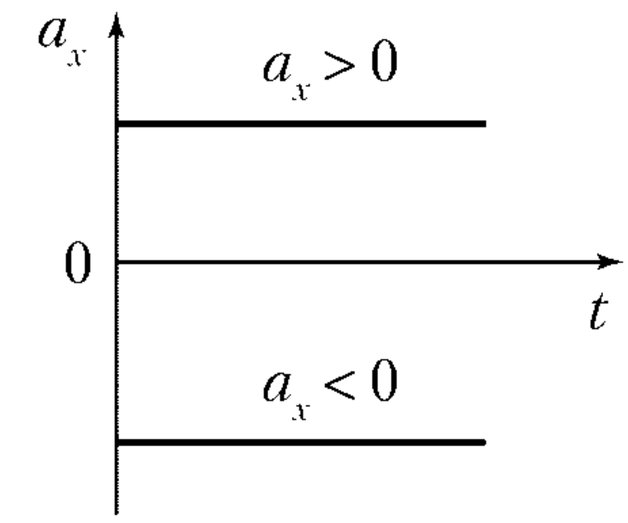
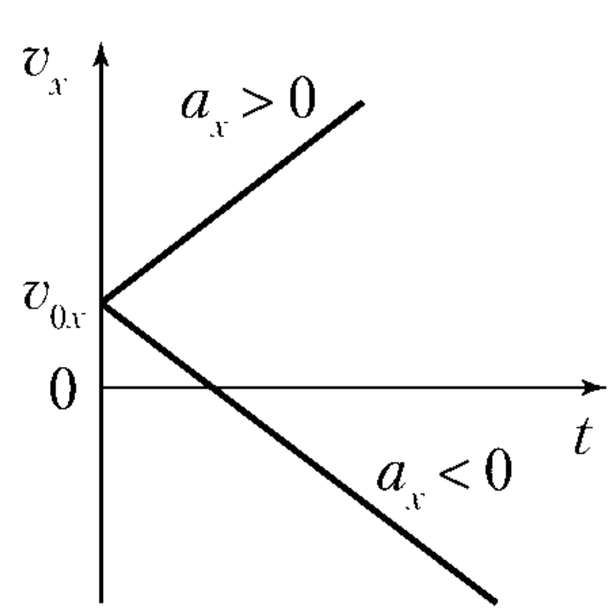
186. Лодочник направляет лодку под углом $\alpha = 60°$ к направлению скорости течения воды в реке. В результате он движется под углом $\beta = 30°$ к берегу. Определите модуль скорости движения лодки относительно воды, если модуль скорости течения воды $v_1 = 0{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

© MICHAEL GAUTIER

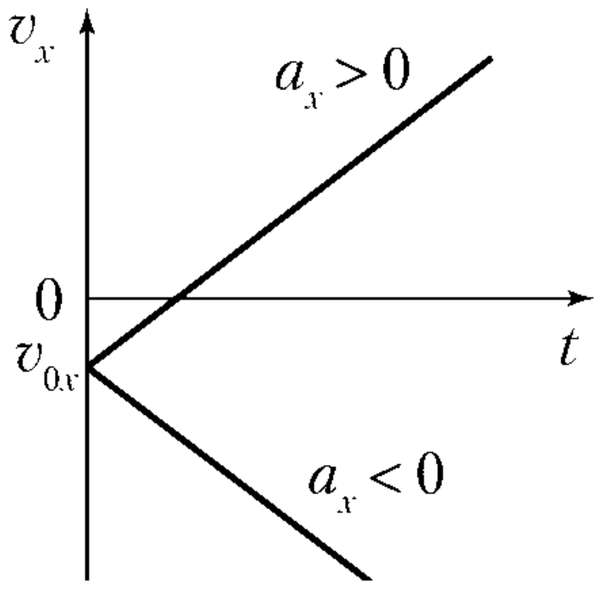
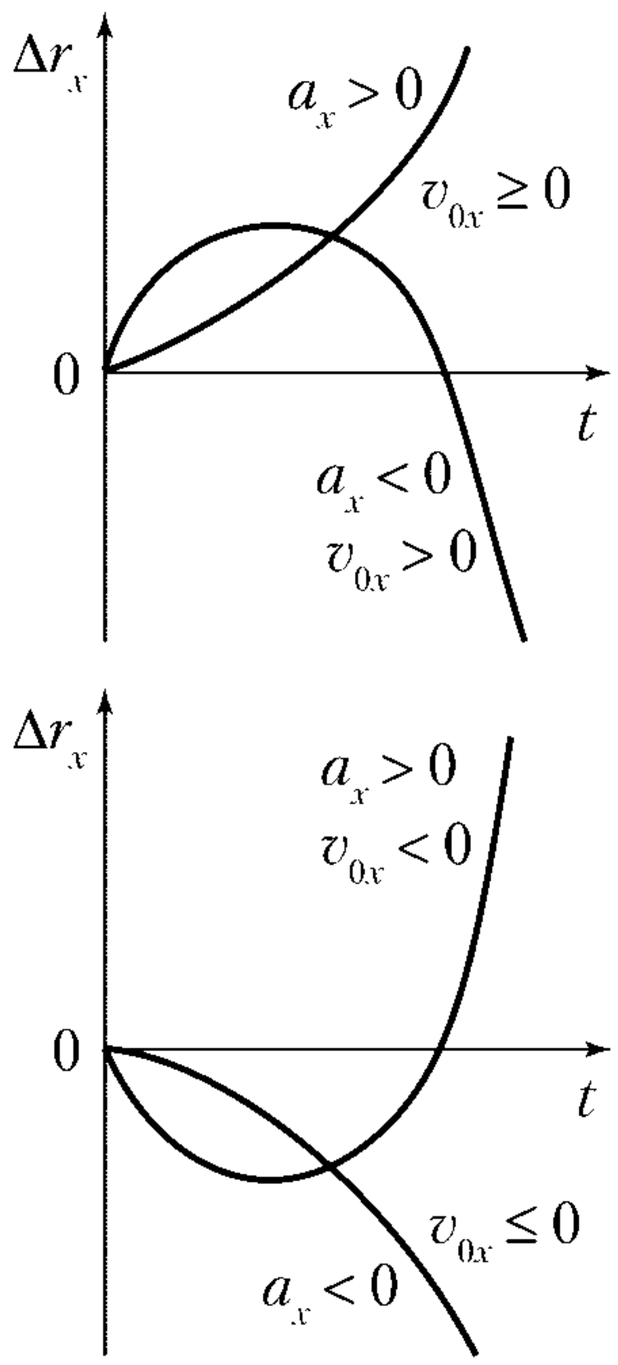
187. Определите модуль скорости движения автомобиля относительно велосипедиста, если модуль скорости движения велосипедиста относительно поверхности земли $v_1 = 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Скорость велосипедиста направлена под углом $\alpha = 60°$ к скорости движения автомобиля. Модуль скорости равномерного движения автомобиля относительно поверхности земли $v_2 = 20\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

7

Равнопеременное движение

Физическая величина	Формулы	Графики
Ускорение при равнопеременном прямолинейном движении	Ускорение: $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$ Модуль ускорения: $a = \frac{\lvert\Delta\vec{v}\rvert}{\Delta t}$ Проекция ускорения на ось Ox: $a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_x - v_{0x}}{\Delta t}$	Графики проекции ускорения: 
Мгновенная скорость при равнопеременном прямолинейном движении	Скорость: $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ Проекция скорости на ось Ox: $v_x = v_{0x} + a_x t$	Графики проекции скорости при $v_{0x} > 0$: 

© MICHAEL GAUTIER

Физическая величина	Формулы	Графики
		Графики проекции скорости при $v_{0x} < 0$: 
Перемещение при равнопеременном прямолинейном движении	Перемещение: $\Delta\vec{r} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$ Проекция перемещения на ось Ox: $\Delta r_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$ Связь проекции перемещения и проекций v_{0x}, v_x и a_x на ось Ox: $\Delta r_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$	Графики проекции перемещения: 
Координата при равнопеременном прямолинейном движении	Кинематический закон равнопеременного прямолинейного движения: $x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	График координаты начинается в точке с координатой x_0 (координата в момент времени $t = 0$) и повторяет график проекции перемещения

© MICHAEL GAUTIER

Физическая величина	Формулы	Графики
Путь при равнопеременном прямолинейном движении	При равнопеременном прямолинейном движении в данном направлении путь равен модулю перемещения: $s = \Delta r$	График пути можно построить на основании графика проекции перемещения, учитывая, что он является неубывающей функцией

188. По трем полосам многополосной дороги движутся три автомобиля в одном направлении. На рисунке 48 точками показаны положения автомобилей через равные промежутки времени. Чем отличаются движения автомобилей?

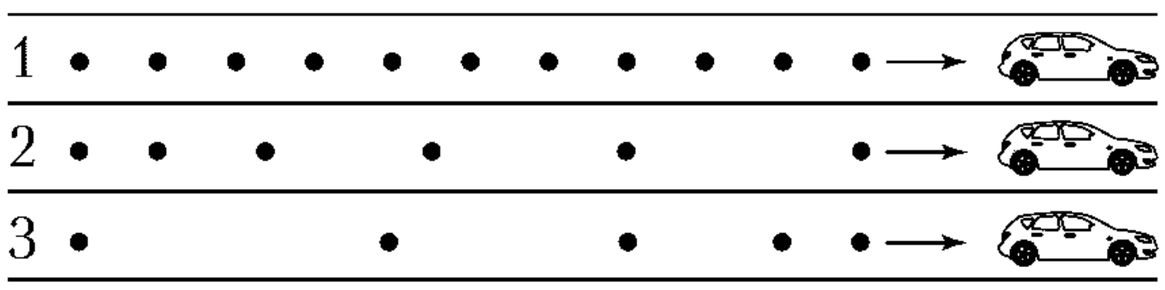


Рис. 48

189. Мгновенные скорости двух троллейбусов при их равноускоренном движении из точки A в точку B изменились за одинаковые промежутки времени так, как показано на рисунке 49 (*а*, *б*). Как направлены векторы ускорений каждого из движений? Равны ли модули ускорений?

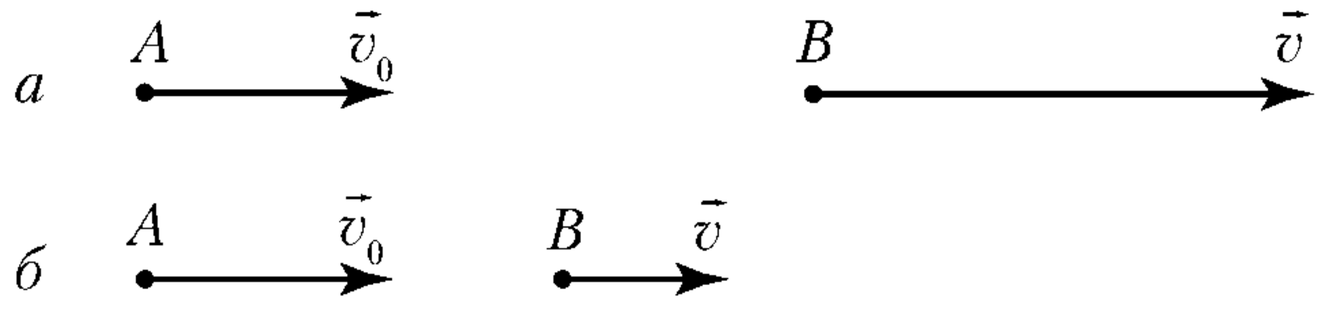


Рис. 49

190. Яхта движется со скоростью, модуль которой не изменяется. Можно ли утверждать, что ускорение при таком движении равно нулю?

191. Может ли в один и тот же момент времени скорость движения тела быть равной нулю, а ускорение — не равным нулю? Приведите пример.

© MICHAEL GAUTIER

192. Может ли тело иметь отрицательную проекцию скорости, в то время как проекция ускорения на ту же координатную ось положительна? Ответ подтвердите примером.

193. Может ли движущееся тело иметь мгновенную скорость, направленную в одну сторону, а ускорение — в другую? Приведите примеры.

194. Модуль скорости равноускоренного прямолинейного движения автомобиля изменился от $v_0 = 0$ до $v = 108 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ за время $t = 10$ с. Определите модуль ускорения автомобиля.

195. Санки двигались со скоростью, модуль которой $v_0 = 7{,}2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, и начали тормозить с постоянным ускорением, модуль которого $a = 0{,}40 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите время, в течение которого останавливались санки.

196. Модуль скорости автомобиля, движущегося прямолинейно с постоянным ускорением, изменился от $v_1 = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ до $v_2 = 5{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ за время $t = 10$ с. Определите модуль и направление ускорения автомобиля.

197. Модуль скорости движения мотоциклиста увеличился с $v_1 = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ до $v_2 = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, а велосипедиста за то же время — от нуля до $v = 9 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Считая движения мотоциклиста и велосипедиста равноускоренными, определите, во сколько раз отличаются модули их ускорений.

198. Определите модуль скорости движения конькобежца на финише, если за время $t = 5{,}0$ с до момента пересечения финишной черты модуль скорости был равен $v_1 = 8{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а модуль ускорения — $a = 0{,}40 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Движение конькобежца считать равноускоренным с возрастающей скоростью.

© MICHAEL GAUTIER

199. После удара клюшкой шайба движется с постоянным ускорением вдоль оси Ox. Проекции начальной скорости и ускорения движения шайбы $v_{0x} = 16\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $a_x = -3{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите проекцию скорости движения шайбы спустя время $t = 4{,}0$ с.

200. Ось Ox направлена вверх вдоль наклонной плоскости, по которой снизу вверх толкнули брусок. Проекция начальной скорости движения бруска $v_{0x} = 4{,}2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите проекцию его скорости через время $t = 3{,}0$ с, если проекция ускорения при движении бруска вверх $a_{1x} = -3{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, а вниз — $a_{2x} = -1{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

201. Троллейбус начинает двигаться прямолинейно и равноускоренно с ускорением, модуль которого $a = 0{,}75\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите модуль перемещения троллейбуса за время $t = 8{,}0$ с.

202. Трамвай сначала двигался равномерно со скоростью, модуль которой $v_0 = 36\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, а затем стал тормозить с постоянным ускорением, модуль которого $a = 2{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите время, в течение которого тормозил трамвай, и его тормозной путь.

203. Электропоезд, движущийся со скоростью, модуль которой $v_0 = 30\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, начал тормозить с постоянным ускорением. Определите время торможения электропоезда до полной остановки и модуль его ускорения, если тормозной путь электропоезда $s = 180$ м.

204. Самосвал БелАЗ движется вдоль оси Ox с постоянным ускорением, проекция которого $a_x = 1{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, и за время $t = 4{,}0$ с проходит путь $s = 20$ м. Определите проекцию начальной скорости движения самосвала на ось Ox.

205. Два автомобиля движутся прямолинейно и равноускоренно: один — с начальной скоростью, модуль которой $v_0 = 6{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, и уско-

© MICHAEL GAUTIER

рением, модуль которого $a_1 = 0{,}50\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, другой — без начальной скорости с ускорением, модуль которого $a_2 = 1{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Через сколько времени автомобили: а) будут иметь одинаковые скорости; б) пройдут одинаковые пути?

206. Через время $t = 15$ с после начала равноускоренного движения спидометр легкового автомобиля показал значение модуля скорости $v_1 = 108\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, грузового — $v_2 = 36\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Во сколько раз отличаются пути, пройденные автомобилями за это время? Найдите два варианта решения.

207. Поезд, двигаясь от остановки с постоянным ускорением, прошел путь $s_0 = 180$ м за время $t_0 = 15{,}0$ с. Какой путь прошел поезд за первые $t = 5{,}0$ с от начала движения?

208. Два лыжника, находясь на расстоянии $s = 280$ м друг от друга, движутся по прямой навстречу друг другу: первый — из состояния покоя с постоянным ускорением, модуль которого $a_1 = 4{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, второй — равномерно со скоростью, модуль которой $v_2 = 8{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Через сколько времени лыжники встретятся?

209. Два легковых автомобиля из состояния покоя движутся прямолинейно по соседним полосам дороги навстречу друг другу с ускорениями, модули которых одинаковы и равны $a = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите модуль относительной скорости движения автомобилей в момент их встречи, если первоначальное расстояние между ними $s = 200$ м.

210. Из одной точки в одном направлении движутся два мотоциклиста: первый равномерно со скоростью, модуль которой $v_1 = 16\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, второй — без начальной скорости с ускорением, модуль которого $a_2 = 4{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Через сколько времени второй мотоциклист догонит первого?

© MICHAEL GAUTIER

211. Модуль скорости движения самолета при взлете должен быть $v = 100\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите время разбега и модуль ускорения, если длина разбега $l = 0{,}50$ км. Движение самолета считать равноускоренным и прямолинейным.

212. При аварийном торможении автомобиль, движущийся со скоростью, модуль которой $v_0 = 90\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, остановился через время $t = 2{,}0$ с. Определите длину тормозного пути, считая движение автомобиля прямолинейным с постоянным ускорением.

213. При прямолинейном равноускоренном движении с ускорением, модуль которого $a = 0{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, и начальной скоростью бронетранспортер проехал путь $s = 30$ м за время $t = 10$ с. Определите отношение модулей конечной и начальной скорости движения бронетранспортера.

214. Лыжник спустился с горы длиной $l = 160$ м за время $t = 20$ с, двигаясь равноускоренно и прямолинейно с ускорением, модуль которого $a = 0{,}60\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите модули скорости движения лыжника в начале и конце спуска.

215. Пуля пробила стенку толщиной $d = 20$ см. Модуль скорости пули перед попаданием в стенку $v_0 = 200\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, после вылета из нее — $v = 100\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль ускорения движения пули внутри стенки, считая это движение прямолинейным с постоянным ускорением.

216. При движении с постоянным ускорением, модуль которого $a = 0{,}50\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, скорость движения санок на пути $s = 60$ м увеличилась в $k = 4$ раза. Определите модуль начальной скорости движения санок и время разгона.

217. Самолет, двигаясь по взлетной полосе равноускоренно и прямолинейно из состояния покоя, проехал путь $s_0 = 450$ м за время $t_0 = 6{,}0$ с. За какое время самолет проехал последние $s = 162$ м пути?

© MICHAEL GAUTIER

218. Двигаясь по озеру прямолинейно и равнозамедленно, лодка в момент начала отсчета времени имела скорость, модуль которой $\upsilon_0 = 0{,}40\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. В течение пятой секунды она проплыла путь $s_5 = 0{,}31$ м. Определите модуль ускорения лодки и путь, который она проплыла до остановки.

219. Двигаясь из состояния покоя равноускоренно и прямолинейно, комбайн за первую секунду движения прошел путь $s_1 = 60$ см. Какой путь он прошел за четвертую секунду движения?

220. Ком снега отрывается от вершины горы и движется равноускоренно и прямолинейно по склону горы. Определите, во сколько раз путь, пройденный комом снега за восьмую секунду, больше пути, пройденного им за третью секунду.

221. Санки, съезжающие равноускоренно и прямолинейно с горы, за первые две секунды проходят путь $s_1 = 3$ м. Какой путь проходят санки за следующие две секунды? Определите скорость движения санок к концу четвертой секунды. Начальная скорость санок равна нулю.

222. Мотоцикл «Минск», двигаясь из состояния покоя равноускоренно и прямолинейно, за седьмую секунду прошел путь $s_7 = 26$ м. Какой путь этот мотоцикл прошел за: а) вторую секунду; б) девятую секунду?

223. При равноускоренном прямолинейном движении без начальной скорости путь, пройденный электропоездом за четвертую секунду, составил $s_4 = 14$ м. Определите модуль ускорения электропоезда.

224. Двигаясь из состояния покоя равноускоренно и прямолинейно, автобус за время $t = 6{,}0$ с проехал путь $s_0 = 90$ м. Разделите этот путь на такие три части, каждую из которых он проезжал за равный промежуток времени.

225. Маршрутное такси движется равноускоренно и прямолинейно с начальной скоростью, модуль которой $\upsilon_0 = 1\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Через некоторое время модуль скорости движения такси стал $\upsilon = 7\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль скорости такси на половине пути, пройденного им за это же время.

© MICHAEL GAUTIER

226. Во сколько раз модуль скорости пули, прошедшей $\frac{1}{4}$ часть ствола автомата, меньше, чем при вылете из ствола? Движение пули считайте равноускоренным.

227. Двигаясь равноускоренно и прямолинейно, трактор в первые два равных последовательных промежутка времени по $\Delta t = 4{,}0$ с каждый проходит пути $s_1 = 20\,\text{м}$ и $s_2 = 52\,\text{м}$. Определите модуль ускорения трактора.

228. Поезд, двигаясь равноускоренно и прямолинейно, проходит два одинаковых последовательных участка пути $s = 15\,\text{м}$ каждый соответственно за время $t_1 = 2{,}0$ с и $t_2 = 1{,}0$ с. Определите модули ускорения поезда и скорости в начале первого участка пути.

229. Спортбайк, двигаясь равноускоренно, за первые $t_1 = 5{,}0$ с своего движения проехал путь $s_1 = 100$ м, а за первые $t_2 = 10{,}0$ с — $s_2 = 300$ м. Определите модуль начальной скорости движения спортбайка.

230. Реактивный самолет летит с постоянной скоростью, модуль которой $v_0 = 720\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Затем в течение времени $t = 10$ с летит в том же направлении с постоянным ускорением. В последнюю секунду самолет пролетает путь $s = 295$ м. Определите модули ускорения и конечной скорости полета самолета.

231. Пассажир, стоявший у начала поезда, определил, что первый вагон начавшего равноускоренно двигаться поезда прошел мимо него за время $t_1 = 4{,}0$ с, а весь поезд — за $t_2 = 16{,}0$ с. Сколько вагонов у поезда, если все они имеют одинаковую длину? За какое время прошел мимо пассажира последний вагон?

232. Спортсмен бежит с постоянной скоростью, модуль которой $v_1 = 18\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Когда он поравнялся с велосипедистом, последний из состояния покоя начал двигаться равноускоренно и прямолинейно. Чему равен модуль скорости велосипедиста в тот момент, когда он догонит спортсмена?

© MICHAEL GAUTIER

233. Когда до двери вагона пассажиру оставалось пройти путь $s_0 = 15$ м, поезд тронулся с места и стал разгоняться с постоянным ускорением, модуль которого $a = 0{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Пассажир начал догонять поезд, двигаясь с постоянной скоростью, модуль которой $v = 4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Через какое минимальное время он достигнет двери вагона?

234. Шайба, которой сообщена начальная скорость $\vec{v}_0$ $\left(v_0 = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$, движется вверх по склону ледяной горки с постоянным ускорением, направленным противоположно начальной скорости. Модуль ускорения $a = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите путь, пройденный шайбой за время $t = 8{,}0$ с от начала движения.

235. По наклонной доске снизу вверх пустили катиться шарик с постоянным ускорением. На расстоянии $l = 30$ см от точки начала движения шарик побывал дважды: через время $t_1 = 1{,}0$ с и время $t_2 = 2{,}0$ с после начала движения. Определите модули начальной скорости и ускорения шарика.

236. Определите модуль перемещения снегохода, если в течение первых $t_1 = 5{,}0$ с он движется с постоянной скоростью, модуль которой $v_0 = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а затем в течение времени $t_2 = 5{,}0$ с разгоняется с постоянным ускорением, модуль которого $a = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

237. Спринтер в течение времени $t_1 = 4{,}0$ с развил скорость, модуль которой $v = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, после чего бежал с постоянной скоростью. Какой по времени результат он показал на дистанции $l = 100$ м?

238. Автомобиль, двигаясь от стоянки равноускоренно, за время $t_1 = 10{,}0$ с достигает скорости, модуль которой $v = 20\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. После этого в течение времени $t_2 = 25{,}0$ с он движется равномерно. Последние $t_3 = 5{,}0$ с автомобиль движется равнозамедленно с постоянным ускорением до полной остановки. Определите путь автомобиля за все время движения.

© MICHAEL GAUTIER

239. Мальчик, двигаясь равноускоренно и прямолинейно из состояния покоя, съехал на санках с горы длиной $l_1 = 50$ м за время $t_1 = 10$ с, а затем проехал по горизонтальному прямолинейному участку еще $l_2 = 25$ м до остановки. Определите модуль ускорения движения мальчика на горизонтальном участке.

240. Автомобиль Geely, двигаясь равноускоренно с постоянным ускорением, модуль которого $a_1 = 5{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, достиг скорости, модуль которой $v = 30\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а затем, двигаясь равнозамедленно, остановился через время $t = 10$ с. Определите путь, пройденный автомобилем за все время движения. Начальная скорость автомобиля равна нулю.

241. Грузовой автомобиль первую половину пути двигался равномерно со скоростью, модуль которой $v_1 = 36\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, а вторую — равноускоренно. Определите среднюю скорость грузового автомобиля на всем пути, если в конце пути модуль скорости стал равен $v_2 = 20\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

242. Санки движутся прямолинейно и равномерно со скоростью, модуль которой $v = 2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, в течение времени $t = 4$ с. Затем они получают ускорение, противоположное направлению движения. Определите модуль ускорения санок, если они вернулись в начальное положение через время $2t$ после начала отсчета времени.

243. Хоккеист начинает толкать клюшкой шайбу, двигая ее из состояния покоя прямолинейно с постоянным ускорением. Через время $t_1 = 28$ с направление ускорения шайбы хоккеист изменяет на противоположное, а модуль уменьшает на $\varepsilon = 4\ \%$. Через какое время после этого шайба вернется в исходное положение?

244. Мотоцикл при работающем двигателе в течение времени $t_1 = 10$ с двигался по прямолинейному участку дороги с ускорением, модуль которого $a_1 = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Затем двигатель был выключен, и мотоцикл начал тормозить до полной остановки с ускорением, модуль которого $a_2 = 1{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите модуль перемещения мотоцикла, если его начальная скорость равна нулю.

© MICHAEL GAUTIER

245. Проекция скорости движения легкоатлета на ось Ox задана уравнением $v_x = A + Bt$, где $A = 4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $B = -2\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Постройте графики проекции скорости и ускорения движения легкоатлета.

246. На рисунке 50 представлен график зависимости проекции скорости прямолинейного движения поезда на ось Ox от времени. Определите проекцию ускорения поезда на эту ось.

247. По графикам проекций скорости движения трех тел вдоль оси Ox (рис. 51) постройте графики проекций на эту ось ускорения движения тел.

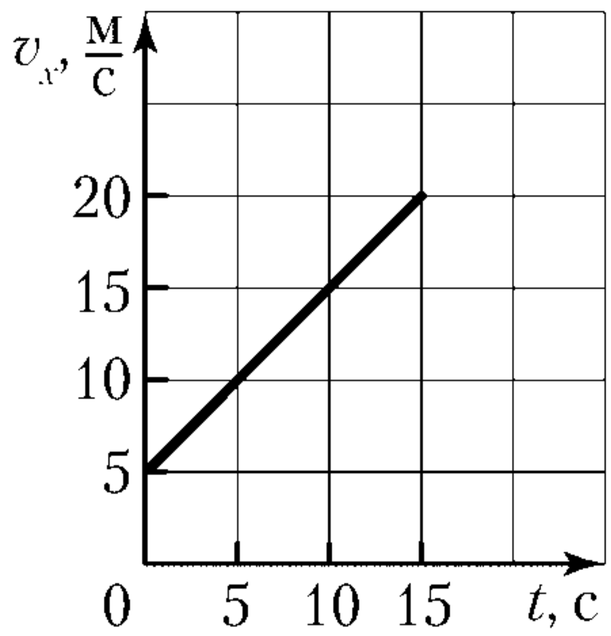


Рис. 50

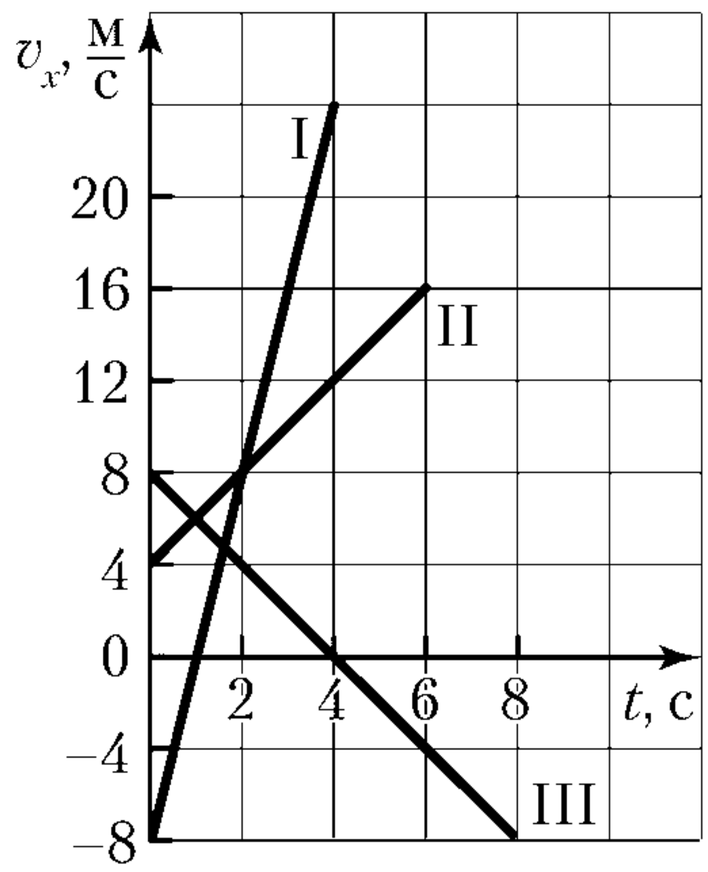
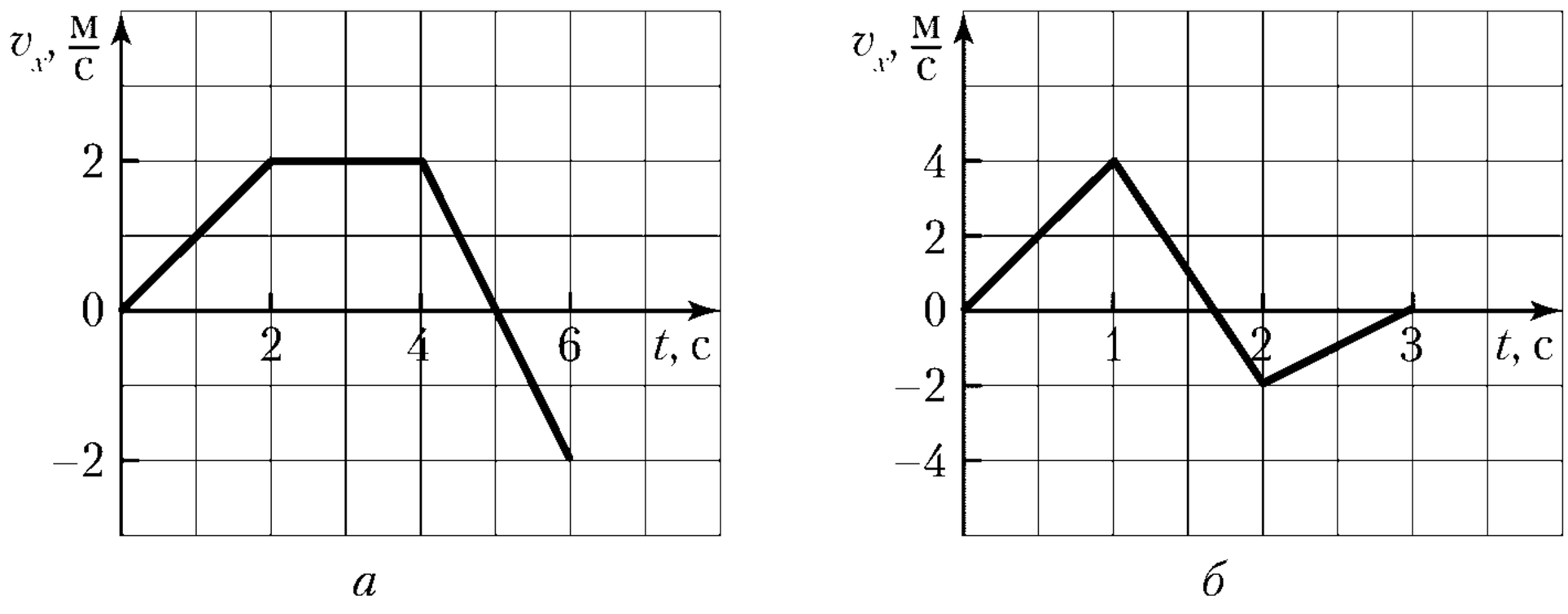


Рис. 51

248. Две мухи летают прямолинейно вдоль оси Ox. Проекции скорости их движения изменяются со временем так, как показано на графиках (рис. 52, *а*, *б*). Постройте графики проекций ускорения на эту ось для каждой мухи.



а *б*

Рис. 52

© MICHAEL GAUTIER

249. На рисунке 53 представлен график проекции ускорения радиоуправляемого автомобиля, движущегося вдоль оси Ox. Постройте график проекции скорости движения автомобиля на эту ось, если проекция его начальной скорости $v_{0x} = -2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

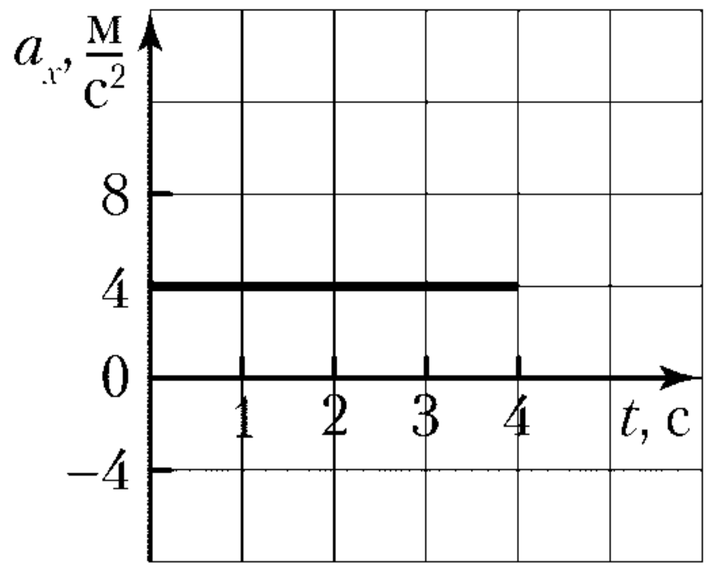
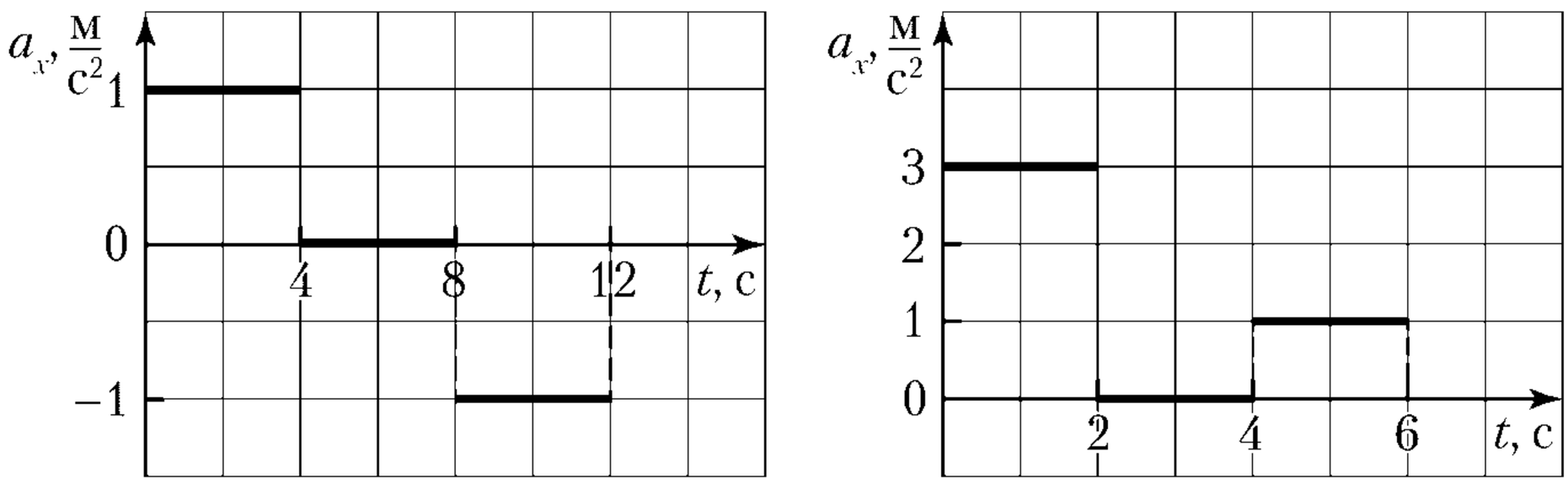


Рис. 53

250. Два фигуриста движутся прямолинейно вдоль оси Ox. Проекции ускорения фигуристов изменяются со временем так, как показано на графиках (рис. 54, *а*, *б*). Постройте графики проекций скорости движения фигуристов на ось Ox. Начальные скорости фигуристов равны нулю.



а *б*

Рис. 54

251. Кинематический закон движения шарика вдоль оси Ox имеет вид: $x = A + Bt + Ct^2$, где $A = 4{,}0$ дм, $B = -3{,}0\ \frac{\text{дм}}{\text{с}}$, $C = 1{,}5\ \frac{\text{дм}}{\text{с}^2}$. Запишите уравнения проекций скорости и перемещения шарика на ось Ox. Постройте графики проекций ускорения, скорости, перемещения и график движения.

252. График прямолинейного движения шарика по наклонной плоскости представлен на рисунке 55. Ось Ox направлена вдоль наклонной плоскости. Запишите кинематический закон движения шарика. Определите проекции ускорения и начальной скорости движения шарика на ось Ox. Какой путь пройдет шарик за время $t = 4{,}0$ с от начала движения?

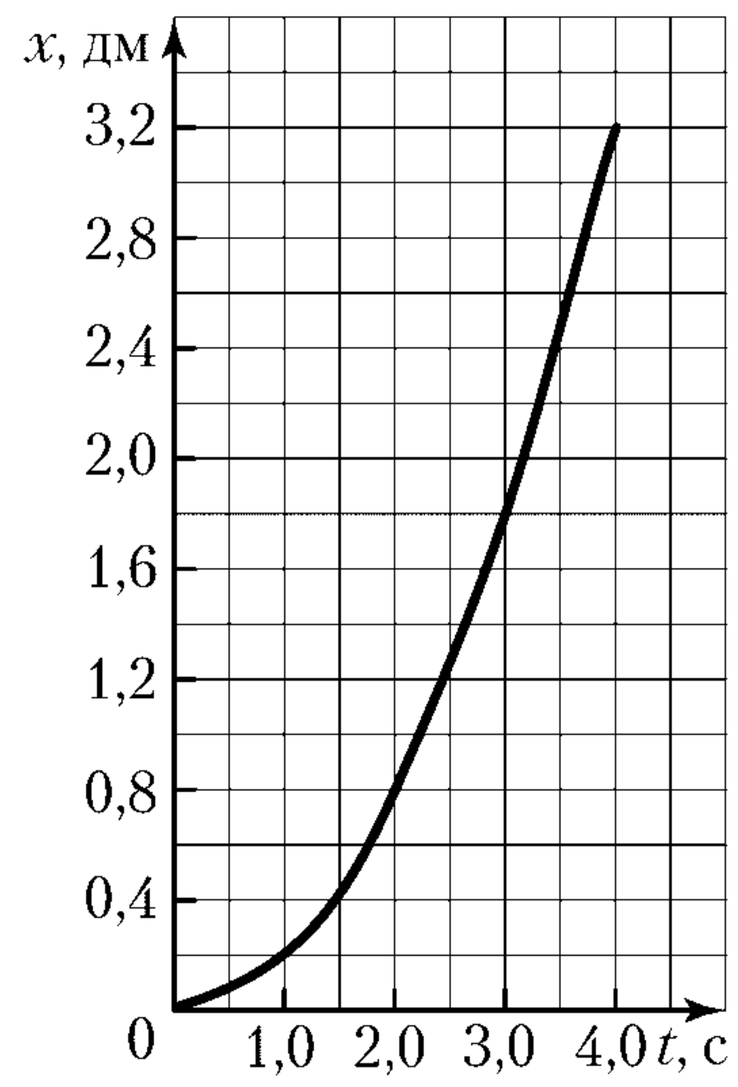


Рис. 55

© MICHAEL GAUTIER

253. Графики равнопеременного движения двух хоккеистов вдоль оси Ox представлены на рисунке 56. Чем отличаются движения хоккеистов? Чему равны проекции ускорений на ось Ox каждого хоккеиста? Чему равны проекции начальной скорости движения хоккеистов на ось Ox? Какие координаты будут иметь хоккеисты через промежуток времени $\Delta t = 20$ с от начала движения? Встретятся ли хоккеисты?

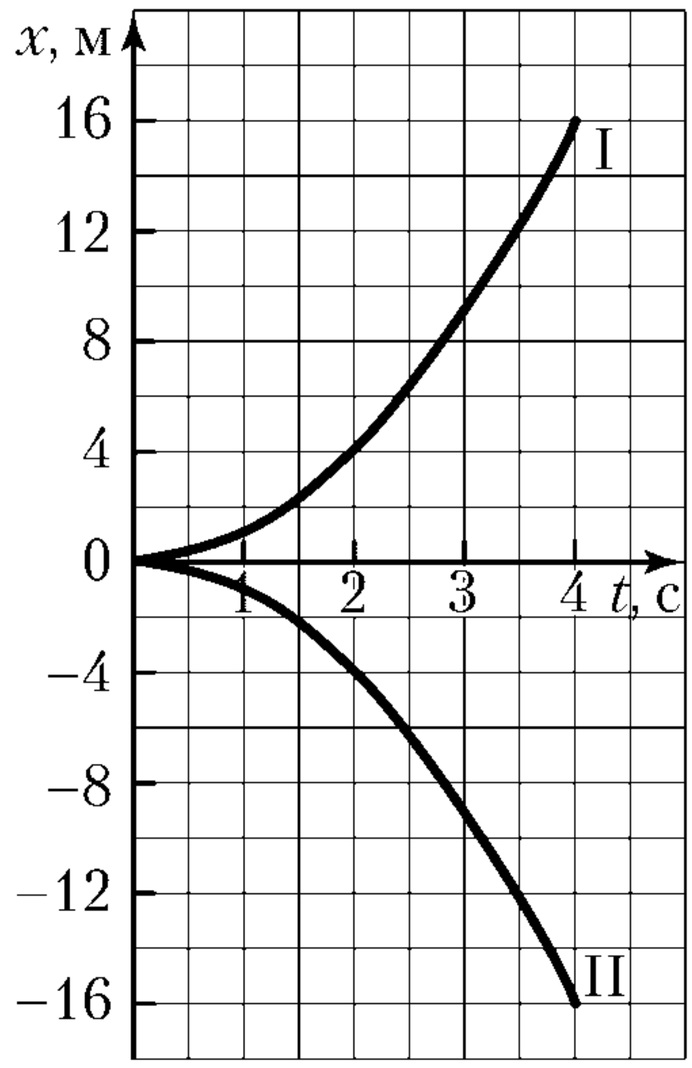


Рис. 56

254. Артист цирка ударом сообщил начальную скорость кольцу, и оно стало скользить по прямой проволоке, натянутой под углом к горизонту над ареной цирка. Зависимость проекции скорости движения кольца на ось Ox от времени задана уравнением $v_x = A + Bt$, где $A = 8{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $B = -4{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Начальная координата кольца $x_0 = 1{,}0$ м.

а) Чему равны проекции начальной скорости и ускорения движения кольца на ось Ox?

б) Постройте графики проекций скорости и ускорения.

в) Запишите кинематический закон движения и уравнение проекции перемещения.

г) Определите координату кольца в момент времени $t = 2{,}0$ с.

д) Определите проекцию перемещения кольца и путь, пройденный кольцом за время $t = 5{,}0$ с.

е) Постройте графики координаты, проекции перемещения и пути.

255. Кинематический закон движения радиоуправляемого детского автомобиля вдоль координатной оси Ox имеет вид $x = A + Bt + Ct^2$, где $A = 3$ дм, $B = 2\ \frac{\text{дм}}{\text{с}}$, $C = -1\ \frac{\text{дм}}{\text{с}^2}$.

а) Определите координату автомобиля и проекцию скорости его движения на ось Ox в конце третьей секунды.

б) Постройте графики движения и проекции перемещения автомобиля.

в) Постройте графики проекций скорости и ускорения автомобиля.

© MICHAEL GAUTIER

256. Кинематические законы движения двух тел вдоль оси Ox имеют вид: $x_1 = At + Bt^2$, где $A = 10{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $B = 0{,}40\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, и $x_2 = Ct + Dt^2$, где $C = -6{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $D = 2{,}00\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите координату точки, в которой второе тело при движении догонит первое. В какой момент времени тела будут иметь скорости, совпадающие по модулю и направлению? Каким будет расстояние между телами через время $t = 5{,}0$ с после начала движения?

257. Кинематические законы движения двух велосипедистов вдоль оси Ox имеют вид: $x_1 = A_1 + B_1t + C_1t^2$, где $A_1 = -3{,}0$ м, $B_1 = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C_1 = 1{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, и $x_2 = A_2 + B_2t + C_2t^2$, где $A_2 = 7{,}0$ м, $B_2 = -8{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C_2 = 1{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите модуль относительной скорости велосипедистов в момент их встречи.

258. Два гандболиста движутся вдоль оси Ox. На рисунке 57, *а*, *б* представлены графики зависимости проекции скорости движения гандболистов от времени. Запишите уравнение проекции скорости для каждого гандболиста. Постройте графики зависимости координат гандболистов от времени, если начальная координата каждого гандболиста равна нулю.

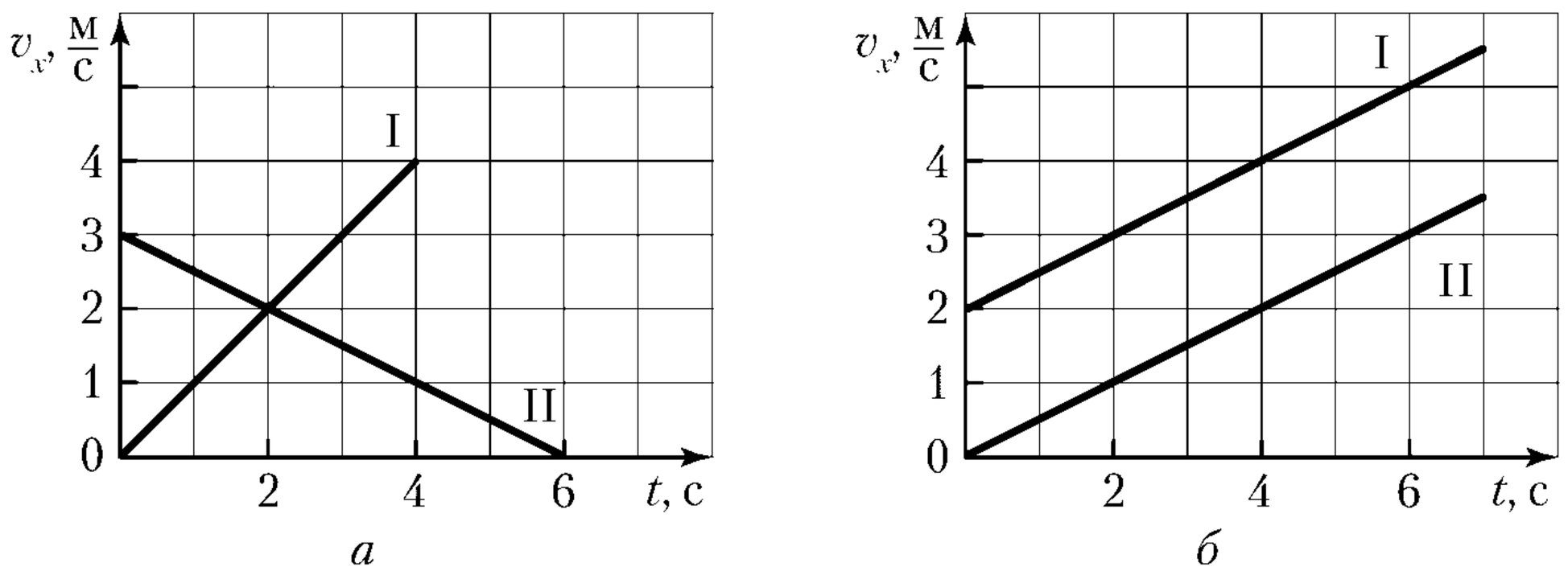
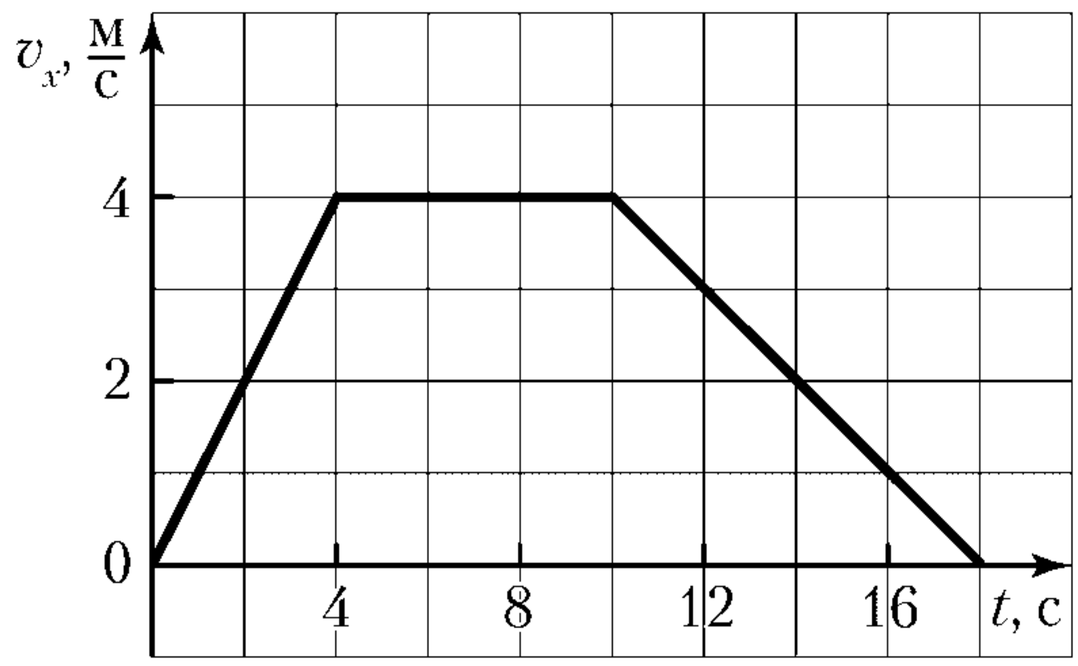


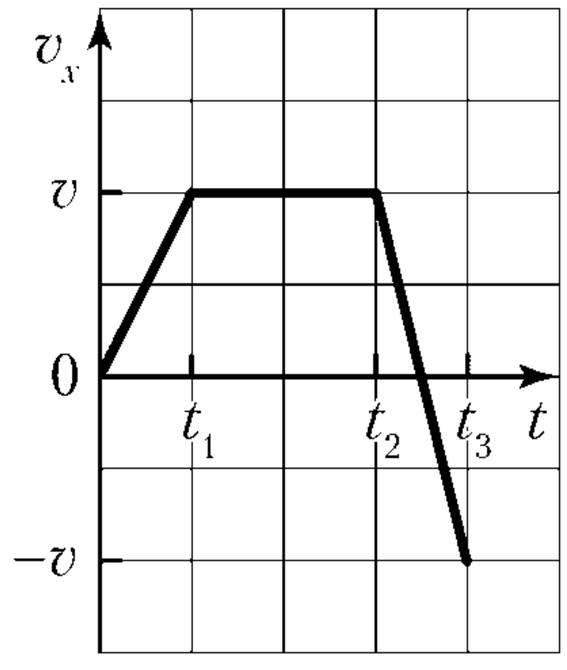
Рис. 57

259. На рисунке 58, *а*—*г* изображены графики зависимости проекции скорости для четырех случаев движения баскетболиста вдоль оси Ox от времени. Постройте для каждого случая графики зависимости проекции ускорения, координаты и пройденного баскетболистом пути от времени. Начальная координата баскетболиста во всех четырех случаях равна нулю.

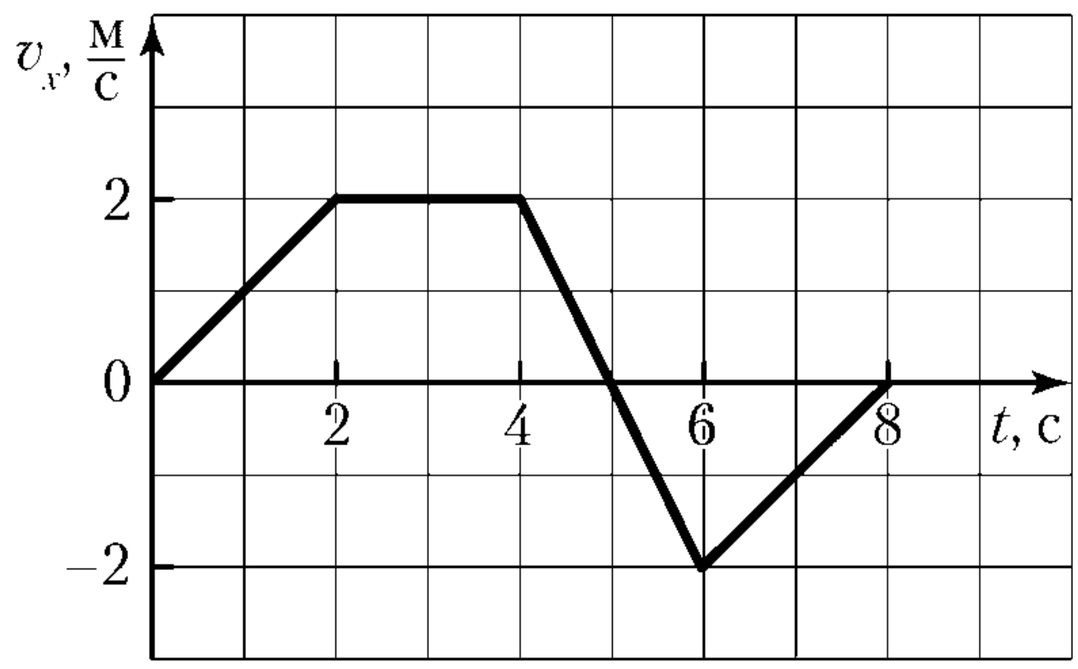
© MICHAEL GAUTIER



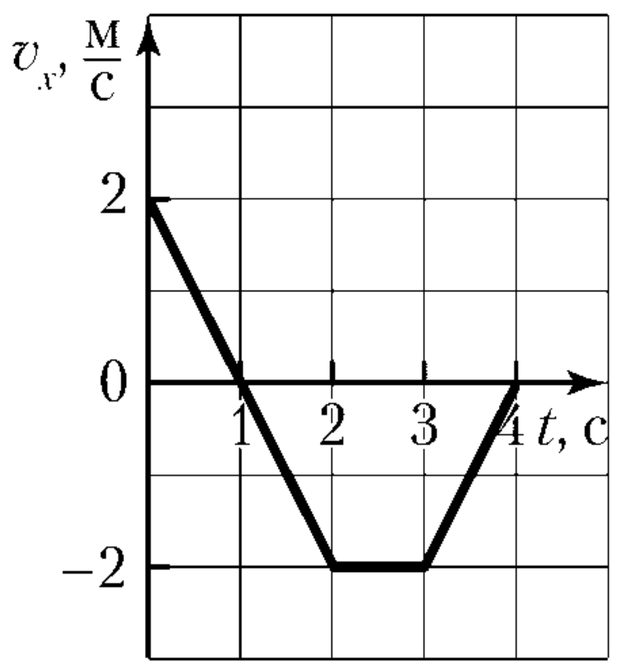
а



б



в



г

Рис. 58

260. Используя график (рис. 59) проекции скорости движения автомобиля вдоль оси Ox, постройте графики проекций на эту ось его ускорения и координаты. Начальная координата $x_0 = 100$ м.

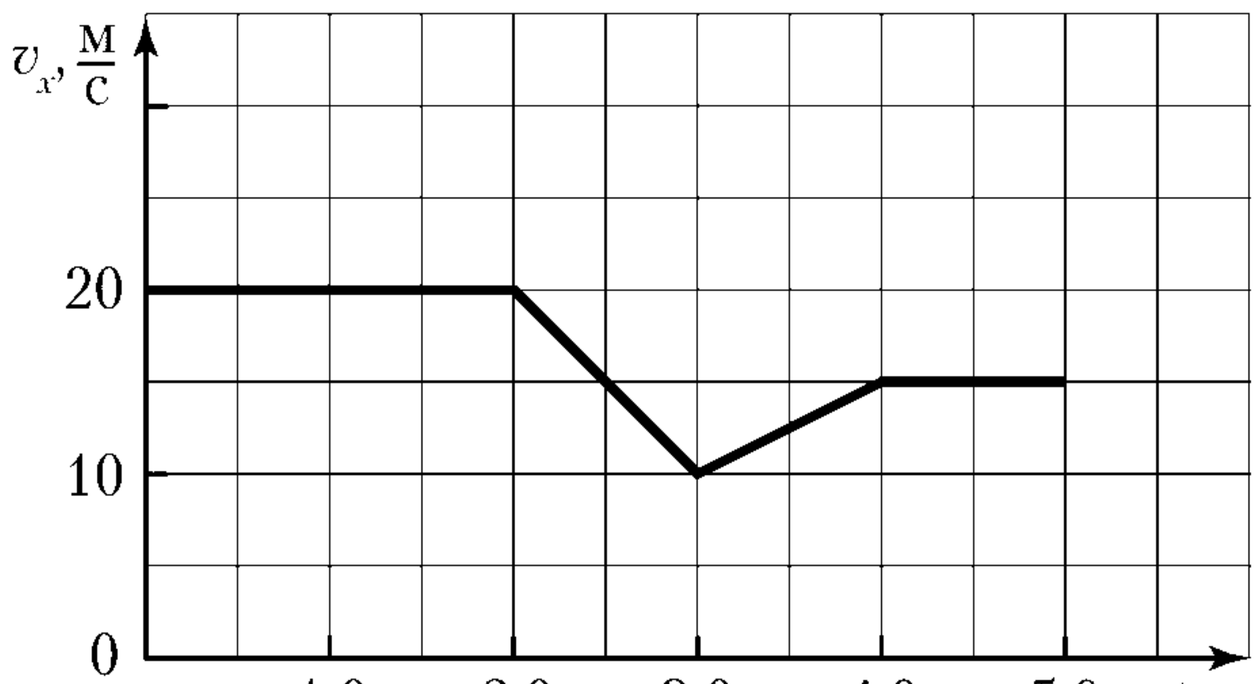
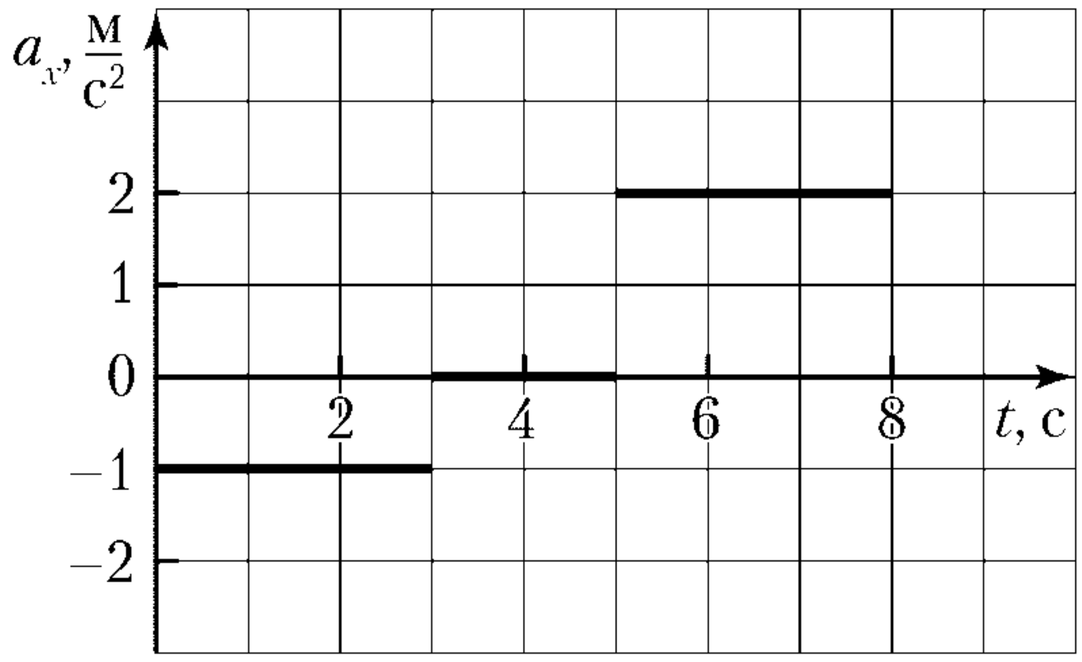


Рис. 59

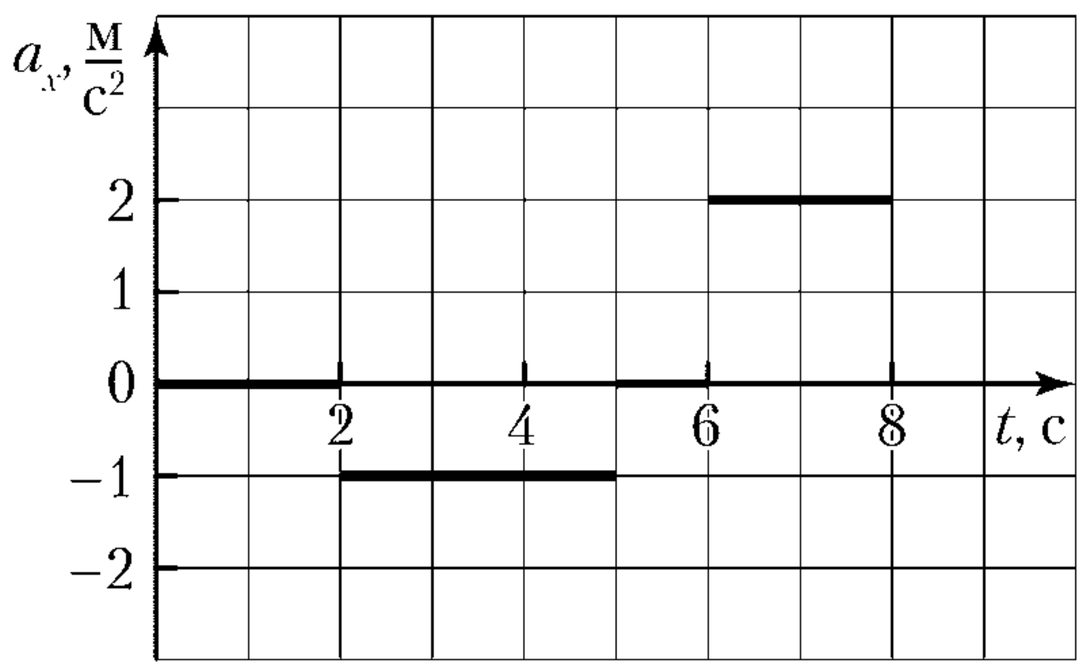
261. На рисунке 60, *а*, *б* представлены графики проекций ускорения двух шмелей, летящих вдоль оси Ox. Постройте графики координаты и проекции скорости движения каждого из шмелей. Известно,

© MICHAEL GAUTIER

что в момент времени $t = 5{,}0$ с проекция скорости каждого шмеля $v_x = -2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а координата в этот момент $x = 1$ м.



а



б

Рис. 60

262. По графику проекции на ось Ox скорости движения фигуриста (рис. 61) постройте графики проекции ускорения и координаты фигуриста. Начальная координата фигуриста $x_0 = 0$.

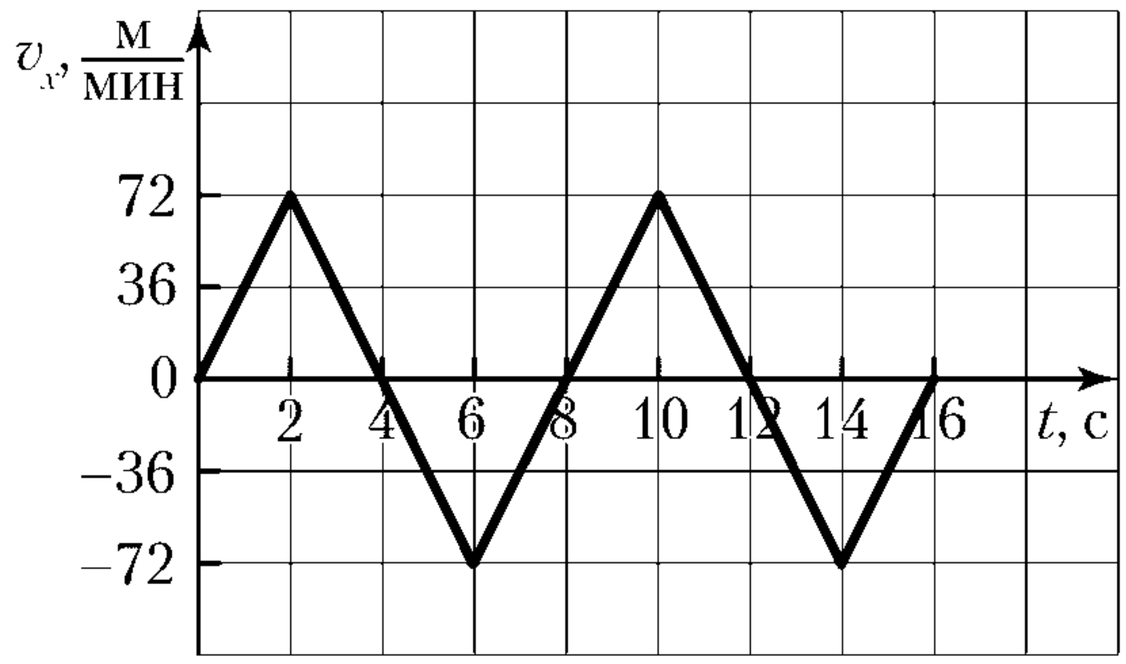


Рис. 61

263. На рисунке 62 представлен график зависимости проекции скорости движения трактора от времени. Определите проек-

© MICHAEL GAUTIER

цию перемещения, модуль перемещения и путь трактора за время от $t_0 = 0$ до $t = 18$ с.

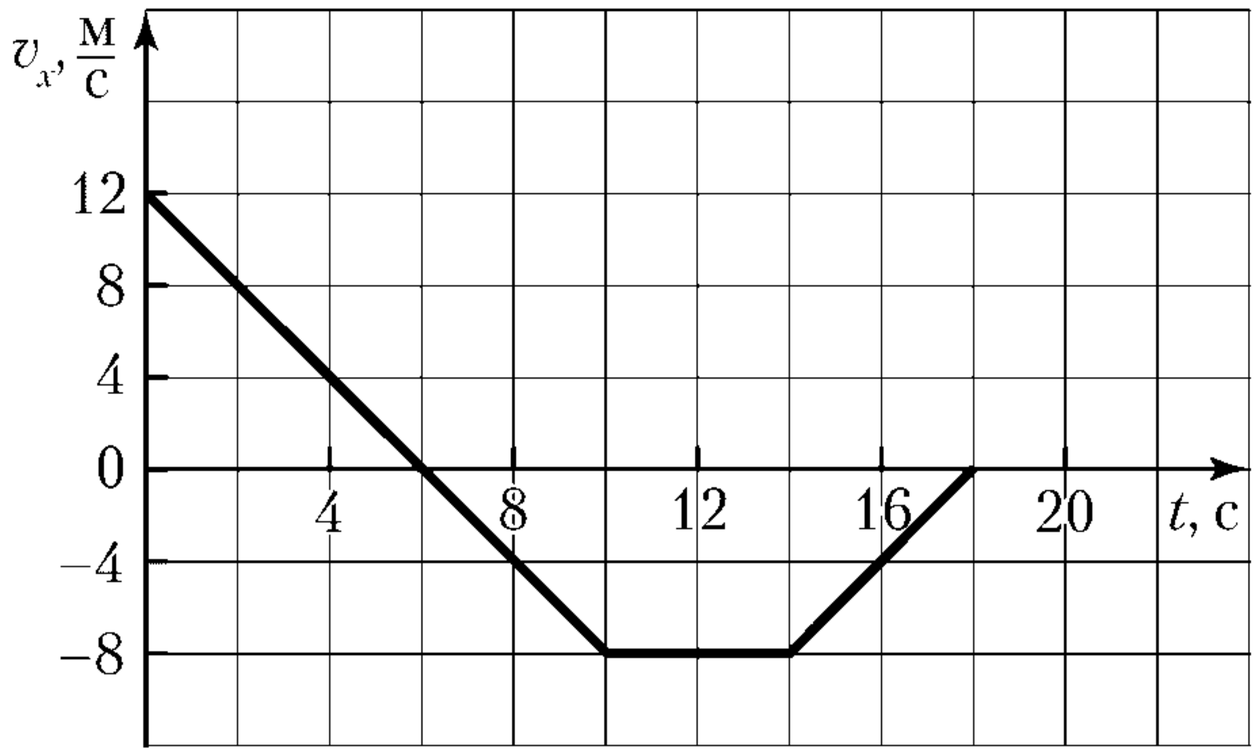


Рис. 62

264. На рисунке 63 представлены графики зависимости модулей скорости движения вдоль одной прямой четырех котят от времени. Какой котенок за время t_1 прошел: а) наибольший путь; б) наименьший путь?

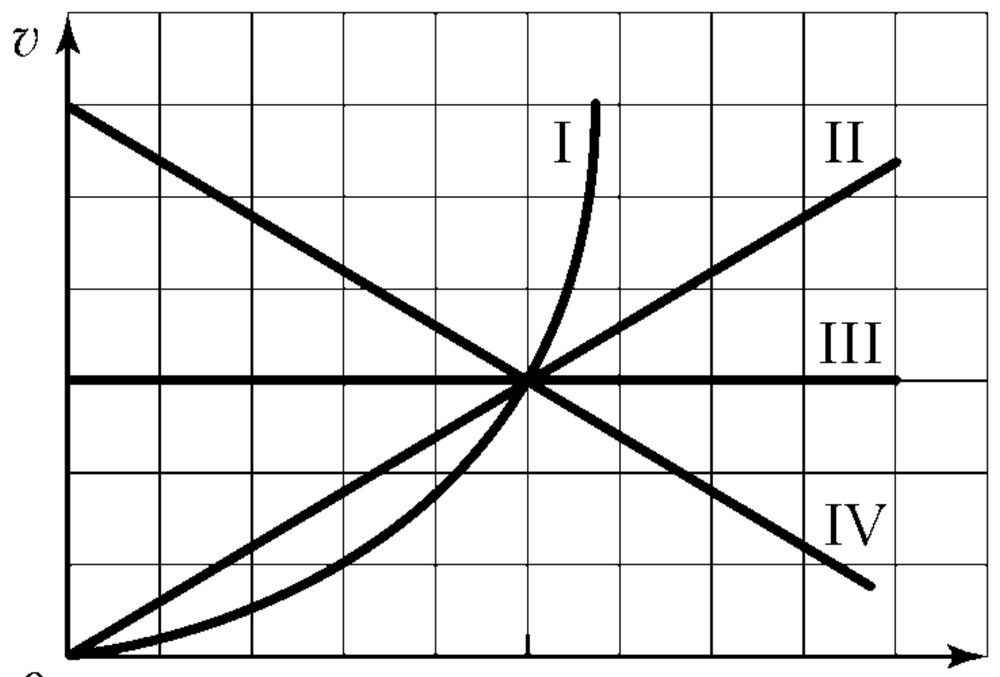


Рис. 63

265. На рисунке 64 представлен график зависимости проекции скорости малька, движущегося вдоль оси Ox, от времени. Определите максимальное удаление от начального положения малька за время своего движения.

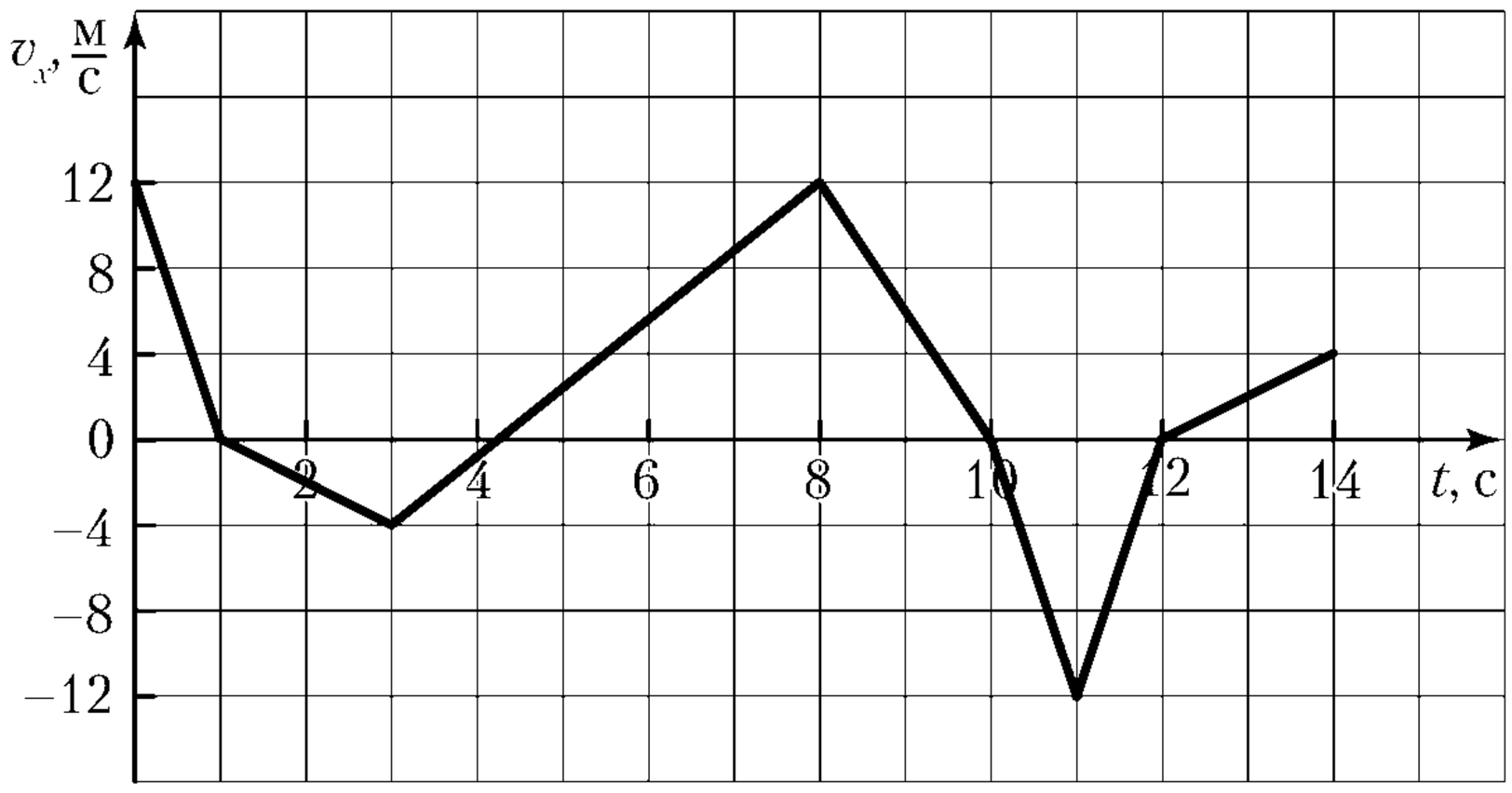


Рис. 64

© MICHAEL GAUTIER

266. Лисенок движется вдоль оси Ox. В начальный момент времени $t = 0$ его координата $x_0 = 0$. На рисунке 65 изображен график зависимости проекции скорости движения лисенка от времени. Постройте графики зависимости проекции на ось Ox ускорения и координаты лисенка от времени. Чему равны проекция перемещения лисенка и пройденный им путь за время $t = 8{,}0$ с?

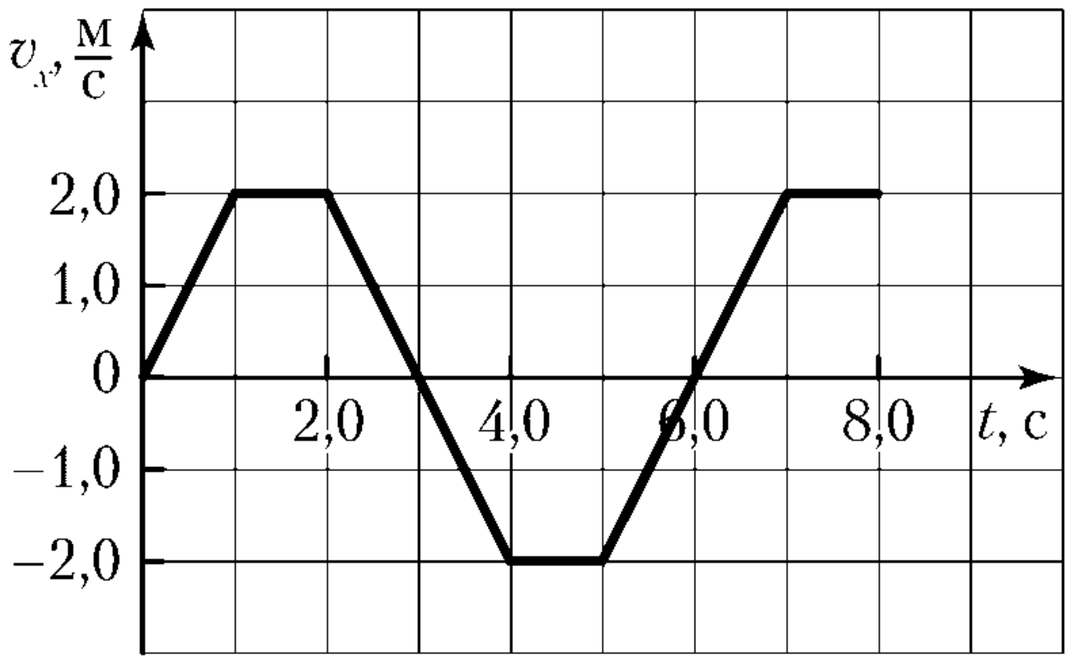
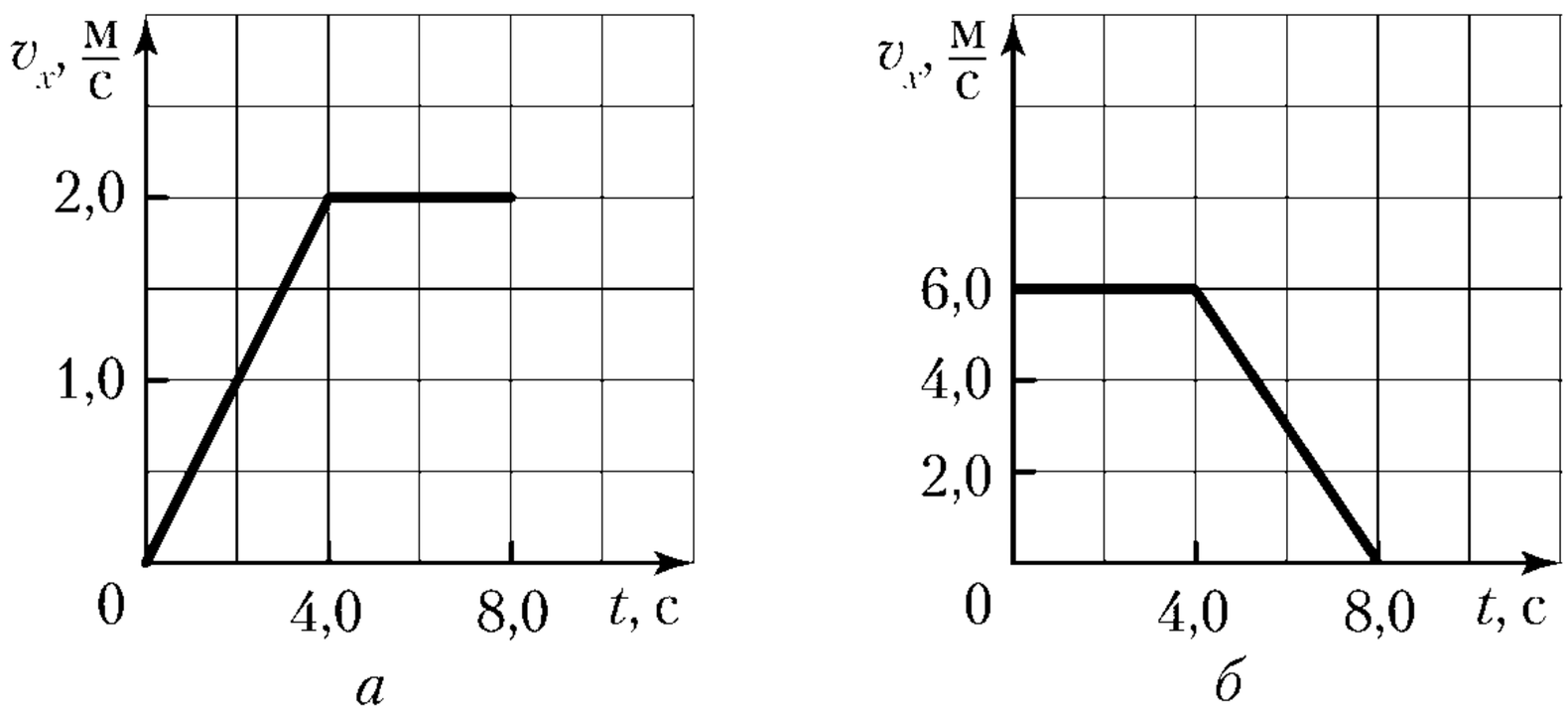


Рис. 65

267. На рисунке 66, *а*, *б* представлены графики зависимости проекций скорости лыжника, движущегося вдоль оси Ox, от времени в двух случаях. Определите для каждого случая среднюю скорость движения лыжника на первой и второй половинах пути, если он двигался в течение времени $t = 8{,}0$ с.



а *б*

Рис. 66

268. Проекция ускорения футболиста, движущегося вдоль оси Ox, изменяется со временем так, как показано на рисунке 67. В начальный момент времени скорость футболиста равна нулю. Постройте график зависимости проекции скорости от времени. Чему равен модуль перемещения футболиста за время движения $t = 8{,}0$ с?

© MICHAEL GAUTIER

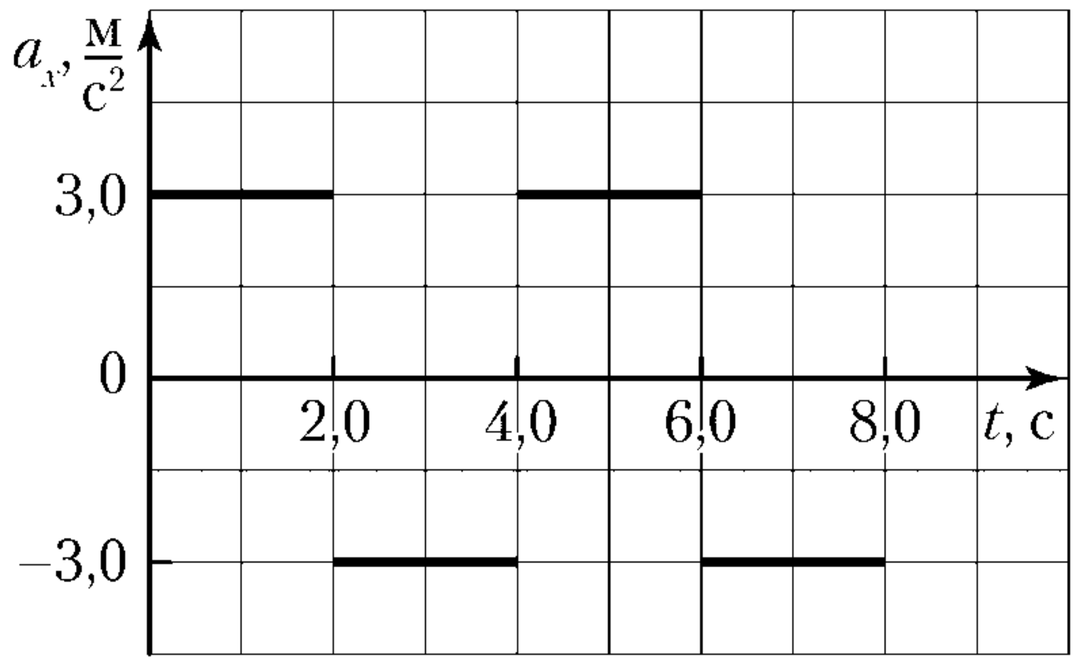


Рис. 67

269. Летчики тренируют катапультирование на специальных тренажерах. В таблице даны значения проекции скорости v_x равноускоренного прямолинейного движения летчика и соответствующие им значения проекции перемещения Δr_x. Какой из графиков (рис. 68) соответствует движению летчика? Найдите модуль ускорения летчика.

v_x, м/с	8	4	0	−4
Δr_x, м	10	16	18	16

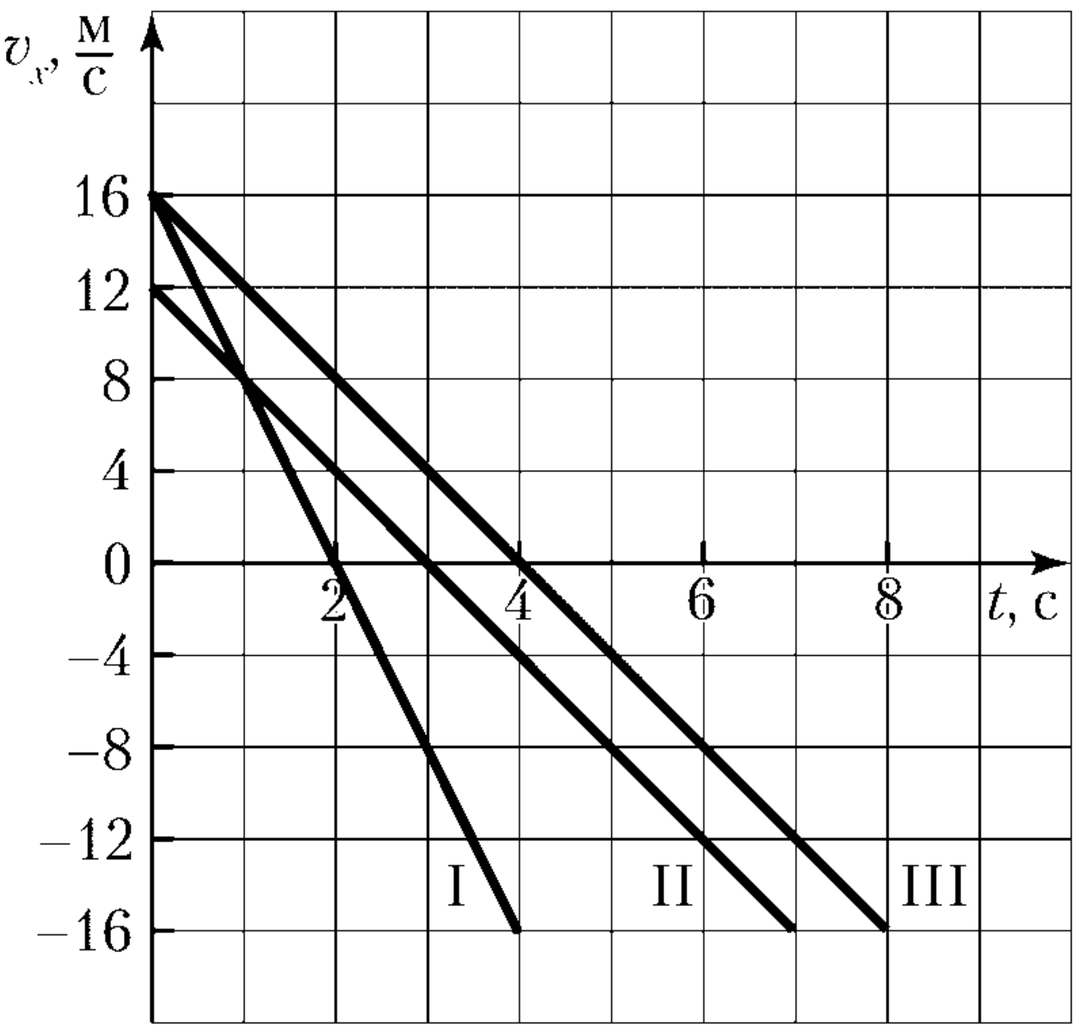


Рис. 68

© MICHAEL GAUTIER

8

Криволинейное движение

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Угловая скорость равномерного вращения тела (материальной точки) по окружности	Угловая скорость: $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ Связь угловой скорости и модуля линейной скорости: $\omega = \frac{v}{R}$	$\Delta\varphi$ — угол поворота радиус-вектора; Δt — промежуток времени, за который произошел поворот радиус-вектора на угол $\Delta\varphi$; R — радиус окружности; v — модуль линейной скорости движения тела
Период обращения — время, за которое тело (материальная точка) совершает один оборот по окружности	Период обращения: $T = \frac{\Delta t}{N}$ Связь угловой скорости и периода обращения: $\omega = \frac{2\pi}{T}$	N — число полных оборотов тела по окружности; Δt — промежуток времени, за который совершено N полных оборотов
Частота вращения — число оборотов, которое совершает тело (материальная точка) за единицу времени	Частота вращения: $\nu = \frac{N}{\Delta t}$ Связь угловой скорости и частоты вращения: $\omega = 2\pi\nu$ Связь частоты вращения и периода обращения: $\nu = \frac{1}{T}$	N — число полных оборотов тела по окружности; Δt — промежуток времени, за который совершено N полных оборотов

© MICHAEL GAUTIER

Физическая величина	**Формула**	**Физические величины, входящие в формулу**
Центростремительное ускорение при движении тела (материальной точки) по окружности с постоянным модулем линейной скорости	Модуль центростремительного ускорения: $a = \frac{v^2}{R}$, $a = \omega^2 R$, $a = \omega v$	v — модуль линейной скорости движения тела; R — радиус окружности; ω — угловая скорость

270. Радиус-вектор, задающий положение лошади, движущейся по окружности на арене цирка, повернулся на угол $\Delta\varphi = \frac{3\pi}{2}$ рад за время $t = 4{,}0$ с. Определите угловую скорость движения лошади.

271. Диск равномерно вращается с угловой скоростью $\omega = 25\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ относительно оси, проходящей через его центр и перпендикулярной плоскости диска. Модуль наибольшей линейной скорости точек диска $v = 5{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите радиус диска.

272. Определите угловую скорость и частоту обращения кабины карусели, если период ее обращения $T = 5{,}0$ с.

273. Модуль линейной скорости точек, лежащих на ободе вращающегося диска, в $n = 2{,}5$ раза больше модуля линейной скорости точек, расположенных на расстоянии $l = 15$ см ближе к оси диска. Определите радиус диска. Ось диска проходит через его центр.

274. Вал электродвигателя кофемолки за время $t = 3{,}0$ с совершает $N = 15$ оборотов. Определите частоту и период равномерного вращения вала.

275. Каток асфальтоукладчика диаметром $d = 0{,}80$ м, двигаясь с постоянной скоростью, переместился на расстояние $l = 4{,}0$ м за время $t = 8{,}0$ с. Определите угловую скорость вращения катка.

276. Барабан стиральной машины при отжиме белья вращается равномерно с частотой $\nu = 400\ \frac{1}{\text{мин}}$. Диаметр барабана $d = 40$ см. Определите модуль линейной скорости точек на поверхности барабана и период его вращения.

© MICHAEL GAUTIER

277. Во сколько раз отличаются угловые скорости вращения часовой стрелки будильника и Земли вокруг их осей?

278. За время $t = 0{,}075$ с точка на поверхности барабана стиральной машины прошла половину окружности радиуса $R = 20$ см с линейной скоростью, модуль которой не изменяется. Определите угловую скорость, период и частоту ее вращения. Определите среднюю скорость пути точки за время движения $t = 0{,}075$ с.

279. Диск равномерно вращается вокруг оси, проходящей через его центр и перпендикулярно плоскости диска. Модуль скорости движения точки, удаленной от центра диска на расстояние $l = 8{,}0$ см, $v_1 = 4{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите радиус диска, если модуль скорости движения крайних точек диска $v_2 = 5{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

280. Модуль линейной скорости движения точек на ободе колеса $v_1 = 10{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а точек, находящихся на $l = 20$ см ближе к центру, — $v_2 = 5{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Сколько оборотов сделает колесо за время $t = 6{,}28$ с?

281. На точильном круге имеется штамп завода-изготовителя: «$30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\varnothing 200$ мм». Можно ли такой круг для заточки деталей насадить на вал двигателя, вращающегося с частотой $\nu = 2400 \frac{1}{\text{мин}}$?

282. Радиус рукоятки колодезного ворота в $k = 4{,}0$ раза больше радиуса вала, на который наматывается цепь. С какой глубины колодца равномерно поднимают ведро с водой, если модуль линейной скорости движения рукоятки $v = 1{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а время подъема $t = 16$ с?

283. Шкив радиусом $R = 0{,}2$ м приводится во вращение грузом, подвешенным на тонкой нерастяжимой нити (рис. 69), постепенно сматывающейся со шкива. В начальный момент груз был неподвижен, а затем стал опускаться с постоянным ускорением, модуль которого $a = 2 \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$. Определите угловую скорость шкива в тот момент, когда груз пройдет путь $s = 1$ м.

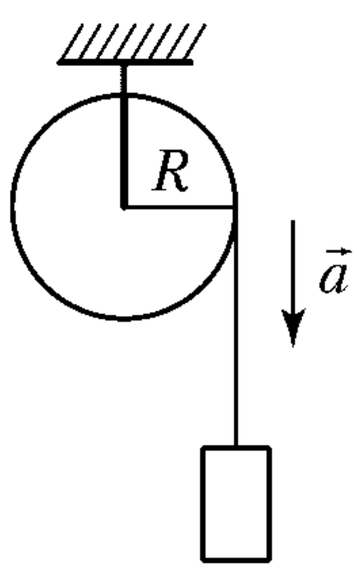


Рис. 69

© MICHAEL GAUTIER

284. Минимальное время, необходимое для изменения модуля перемещения точки, движущейся по окружности радиуса R с постоянным модулем скорости, от наибольшего до наименьшего значения, равно t. Определите модуль линейной скорости точки.

285. Две материальные точки A и B движутся по окружности с постоянными частотами $\nu_A = 3\ \text{с}^{-1}$ и $\nu_B = 5\text{с}^{-1}$ (рис. 70). В начальный момент времени угол между радиусами, проведенными к точкам A и B, $\varphi_0 = \dfrac{2\pi}{5}$. Через какое минимальное время точка B догонит точку A?

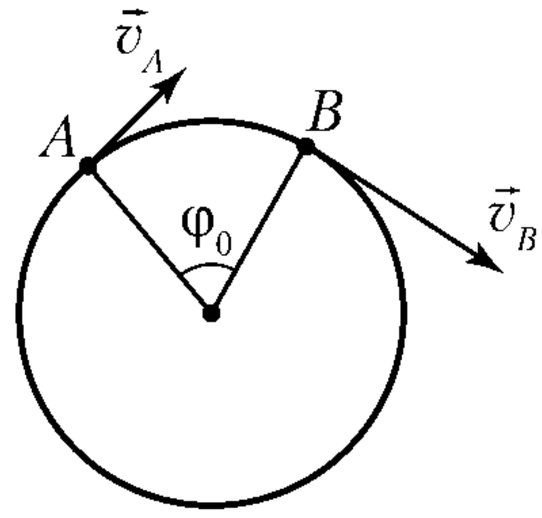


Рис. 70

286. Два велосипедиста движутся в противоположных направлениях по кольцевой дороге со скоростями, модули которых одинаковы. Определите время между двумя последовательными встречами велосипедистов, если период обращения одного из них $T_1 = 6{,}0$ мин, другого — $T_2 = 9{,}0$ мин.

287. Тонкостенный шар радиуса R равномерно вращается вокруг оси, проходящей через его центр, с частотой ν. Определите модуль минимальной скорости, с которой должна лететь пуля вдоль диаметра, перпендикулярного оси вращения, чтобы в оболочке шара вылетевшая из него пуля сделала только одно отверстие. Изменением скорости пули при пролете через шар пренебречь.

288. Модуль скорости движения крайних точек вращающегося ножа кофемолки $v = 4{,}70\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль центростремительного ускорения этих точек, если расстояние между ними $d = 65{,}0$ мм.

289. Определите модуль скорости, с которой автомобиль должен проезжать середину выпуклого моста радиуса $R = 40$ м, чтобы модуль его центростремительного ускорения составлял $a = 8{,}1\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

290. Модуль скорости крайних точек равномерно вращающейся дисковой пилы $v = 55\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите радиус пилы, если модуль центростремительного ускорения ее крайних точек $a = 10\ \dfrac{\text{км}}{\text{с}^2}$.

© MICHAEL GAUTIER

291. Гидротурбина вращается равномерно с угловой скоростью $\omega = 4{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Определите модуль центростремительного ускорения точек, находящихся на расстояниях $R_1 = 20$ см и $R_2 = 50$ см от оси турбины, и период вращения турбины.

292. Модуль скорости крайних точек равномерно вращающегося шлифовального круга, диаметр которого d, равен v. Определите частоту вращения круга и модуль центростремительного ускорения крайних точек круга.

293. На равномерно вращающийся вал за время $t = 10$ с наматывается тонкая нить длиной $l = 5{,}0$ м. Определите период вращения вала, если модуль центростремительного ускорения точек на поверхности вала $a = 6{,}3\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

294. Стадион имеет беговые дорожки, представляющие собой окружности, радиусы которых R_1 и R_2, причем $R_1 = 2R_2$. Определите отношение модулей центростремительного ускорения бегущих спортсменов при равенстве: а) модулей их линейной скорости; б) их периодов.

295. Радиус равномерно вращающегося колеса трактора в $k = 2$ раза больше, частота вращения — в $n = 8$ раз меньше колеса автомобиля. Сравните модули линейной скорости и центростремительного ускорения точек на ободах колес относительно их осей.

296. Модуль центростремительного ускорения крайних точек равномерно вращающегося диска в $n = 5{,}0$ раза больше модуля центростремительного ускорения точек, расположенных на расстоянии $l = 12$ см ближе к оси диска. Определите радиус диска. Ось вращения диска проходит через его центр.

297. Минутная стрелка часов в $k = 1{,}5$ раза длиннее секундной. Определите отношения модулей линейной скорости и центростремительного ускорения концов стрелок.

298. Стержень длиной $l = 2{,}5$ м вращается вокруг перпендикулярной к нему оси с угловой скоростью $\omega = 4{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Определите модуль центростремительного ускорения точки на одном конце стержня, если модуль центростремительного ускорения точки на втором конце стержня $a_2 = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

© MICHAEL GAUTIER

299. Стержень равномерно вращается вокруг оси, перпендикулярной стержню и находящейся между точками B и C (рис. 71). Модуль линейной скорости точки B $v_B = 0{,}6\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, модуль линейной скорости точки C $v_C = 1{,}2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Расстояние между точками A и B $l = 10$ см. Определите модуль линейной скорости точки A, если расстояние между точками A и C $L = 70$ см.

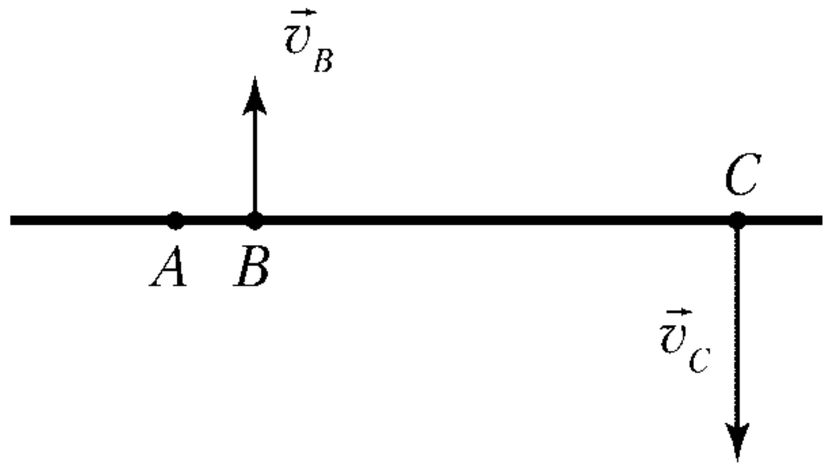


Рис. 71

300. Колесо катится по горизонтальной поверхности земли со скоростью, модуль которой постоянен и равен $v = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль линейной скорости точек A, B, C, D, E (рис. 72) колеса относительно земли. Угол $\alpha = 60°$.

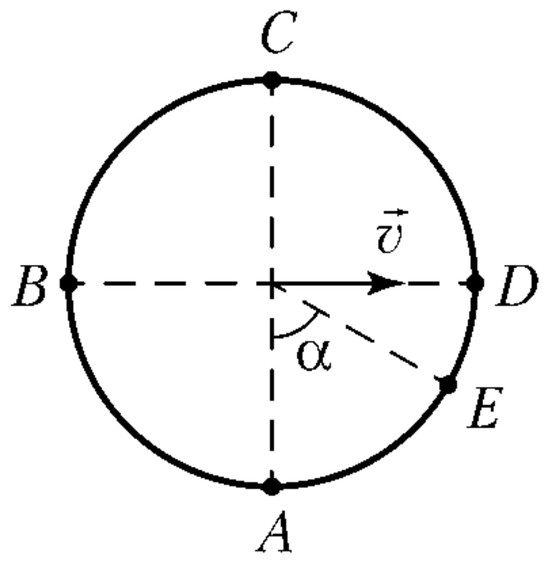


Рис. 72

301. Сколько оборотов в минуту делают ведущие колеса тепловоза диаметром $d = 0{,}800$ м, если модуль скорости движения тепловоза $v = 72{,}0\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ постоянен? Определите модуль центростремительного ускорения точек на ободе колес.

302. Вертолет начинает снижаться вертикально вниз с постоянным ускорением, модуль которого $a = 0{,}20\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Точки на краю лопасти винта, вращающегося со средней частотой $\langle \nu \rangle = 5{,}0\ \frac{\text{об}}{\text{с}}$, совершили за время спуска $N = 100$ оборотов. Определите модуль перемещения вертолета.

303. Шарик, привязанный к нити, вращается по окружности со скоростью, модуль которой равен v. Определите модуль его центростремительного ускорения, если за промежуток времени Δt вектор скорости изменяет свое направление на угол $\Delta\varphi$.

© MICHAEL GAUTIER

304. Два спортсмена одновременно начали движение с одинаковыми скоростями, модули которых $v = 4{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$: один — по окружности радиусом $R_1 = 40$ м, другой — по окружности радиусом $R_2 = 80$ м (рис. 73). Определите угол между направлениями ускорений через время $t = 31{,}4$ с после начала движения.

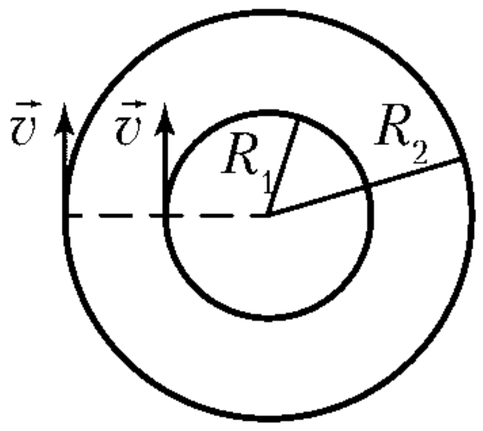


Рис. 73

305. Гладкий горизонтальный диск радиусом R равномерно вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр диска. От диска на расстоянии $0{,}6R$ от оси отрывается маленькая шайба и скользит по его поверхности. Через какое время шайба соскользнет с диска, если частота его вращения равна ν? На какой угол повернется диск за время скольжения шайбы?

306. (э) Экспериментально подтвердите, что линейная скорость точки при вращательном движении зависит от радиуса вращения.

Оборудование: картонная пластинка в виде круга с отверстием в центре; на пластинку нанесены три черные точки, находящиеся на одном радиусе на разных расстояниях от центра.

© MICHAEL GAUTIER

2 Основы динамики

9. Сила

10. Законы Ньютона

11. Сила упругости

12. Сила трения

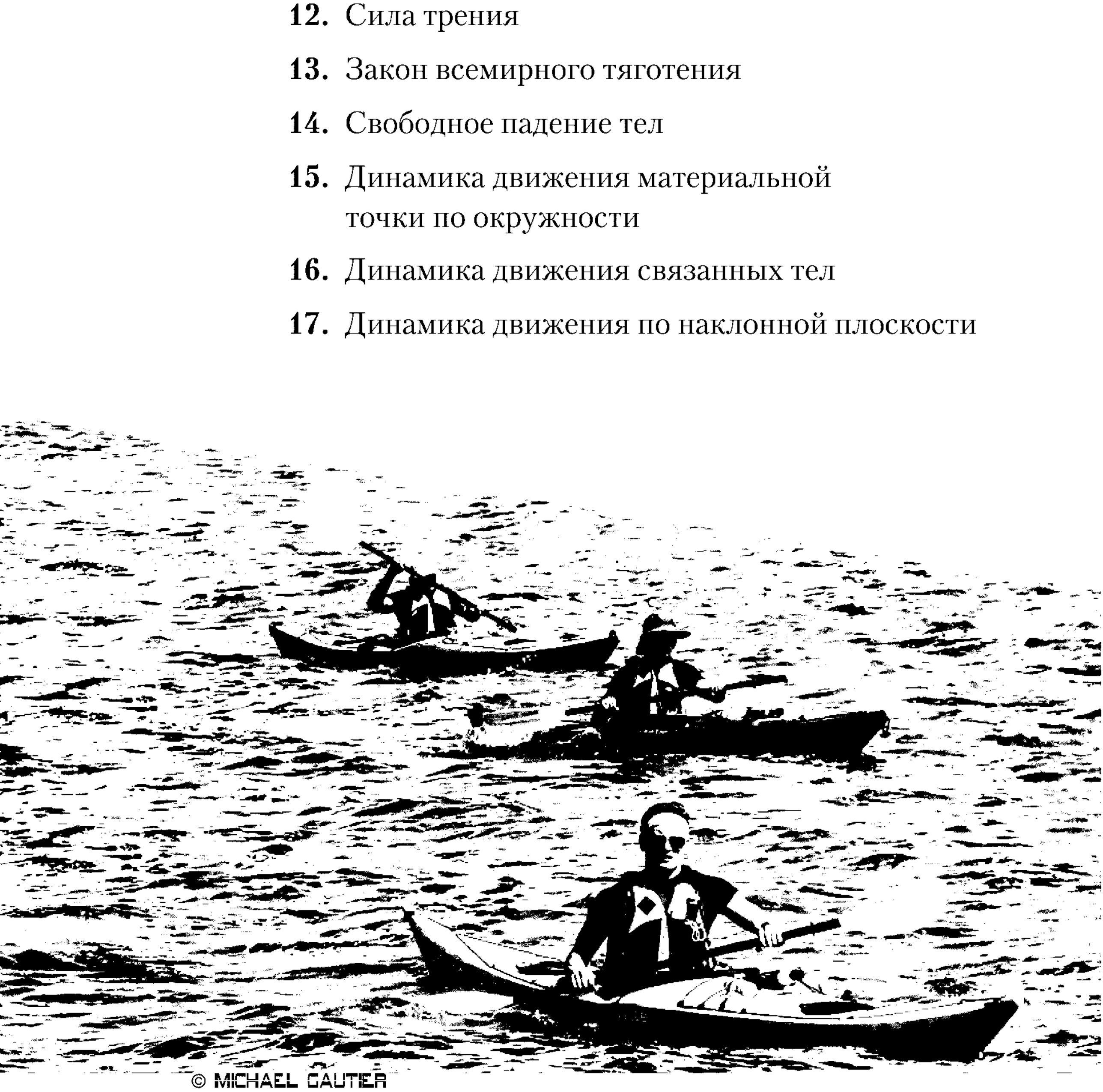
13. Закон всемирного тяготения

14. Свободное падение тел

15. Динамика движения материальной точки по окружности

16. Динамика движения связанных тел

17. Динамика движения по наклонной плоскости



© MICHAEL GAUTIER

9

Сила

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Результирующая (равнодействующая) всех сил, приложенных к телу	$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n$	$\vec{F}$ — результирующая (равнодействующая) всех сил, приложенных к телу; $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, ..., $\vec{F}_n$ — силы, приложенные к телу
Проекции результирующей (равнодействующей) всех сил, приложенных к телу	$F_x = F_{1x} + F_{2x} + \ldots + F_{nx}$; $F_y = F_{1y} + F_{2y} + \ldots + F_{ny}$	F_x, F_y — проекции на оси Ox, Oy результирующей (равнодействующей) всех сил, приложенных к телу; F_{1x}, F_{2x}, ..., F_{nx} — проекции на ось Ox сил, действующих на тело; F_{1y}, F_{2y}, ..., F_{ny} — проекции на ось Oy сил, действующих на тело
Модуль результирующей (равнодействующей) всех сил, приложенных к телу	$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$	F — модуль результирующей (равнодействующей) всех сил, приложенных к телу; F_x — проекция на ось Ox результирующей (равнодействующей) всех сил, приложенных к телу; F_y — проекция на ось Oy результирующей (равнодействующей) всех сил, приложенных к телу

© MICHAEL GAUTIER

307. Может ли модуль равнодействующей сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ ($F_1 = 9$ Н и $F_2 = 12$ Н) быть равным: а) 2 Н; б) 3 Н; в) 12 Н; г) 15 Н; д) 21 Н; е) 25 Н?

308. На тело действуют две силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ (рис. 74), модули которых $F_1 = 6{,}4$ Н и $F_2 = 4{,}8$ Н. Изобразите равнодействующую этих сил. Определите ее модуль.

309. На тело действуют две силы F_1 и F_2 (рис. 75), модули которых $F_1 = 5$ Н и $F_2 = 3$ Н. Изобразите равнодействующую этих сил. Определите ее модуль.

310. На тело действуют две силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ (рис. 76), модули которых $F_1 = 40$ Н и $F_2 = 30$ Н. Определите: а) проекции каждой силы на оси Ox и Oy; б) проекции равнодействующей сил на оси Ox и Oy; в) модуль равнодействующей сил.

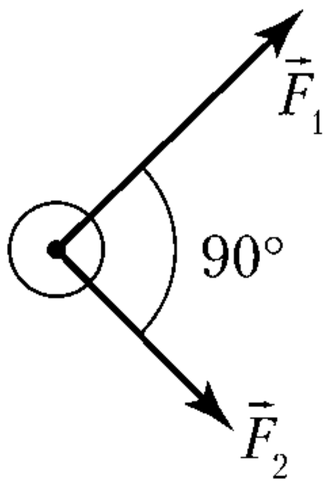


Рис. 74

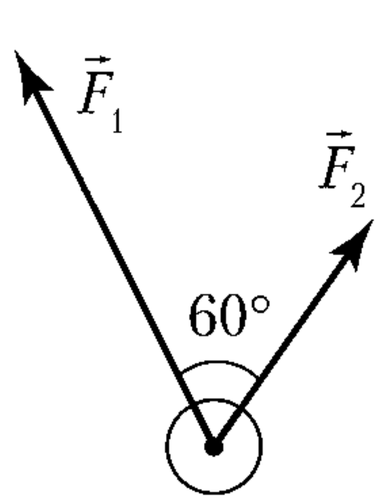


Рис. 75

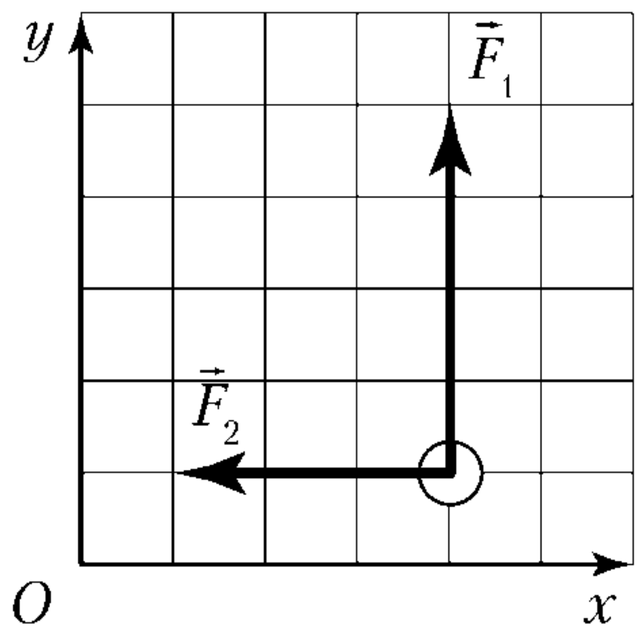


Рис. 76

311. На тело действуют силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ (рис. 77). Определите модуль равнодействующей этих сил, если проекция силы $\vec{F}_1$ на оси координат $F_{1x} = 15$ Н и $F_{1y} = 5{,}0$ Н.

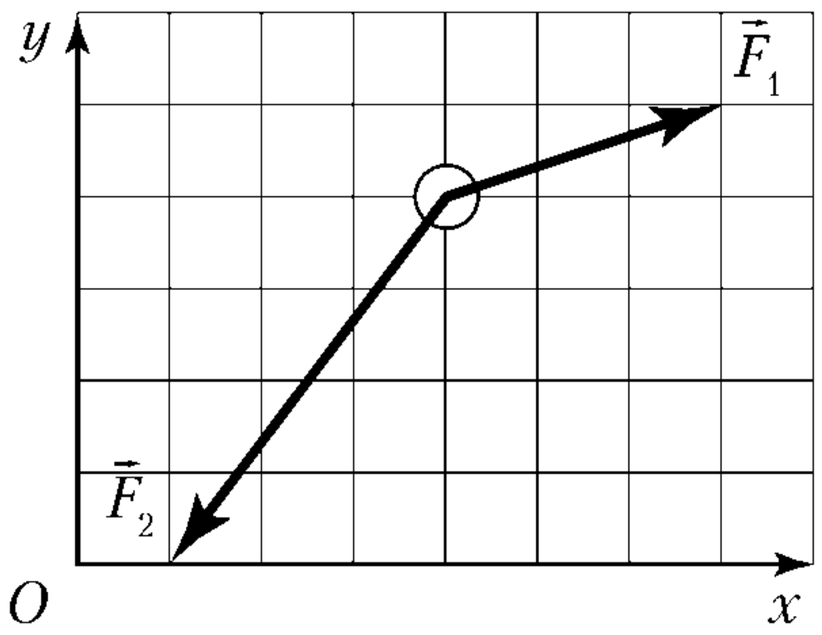
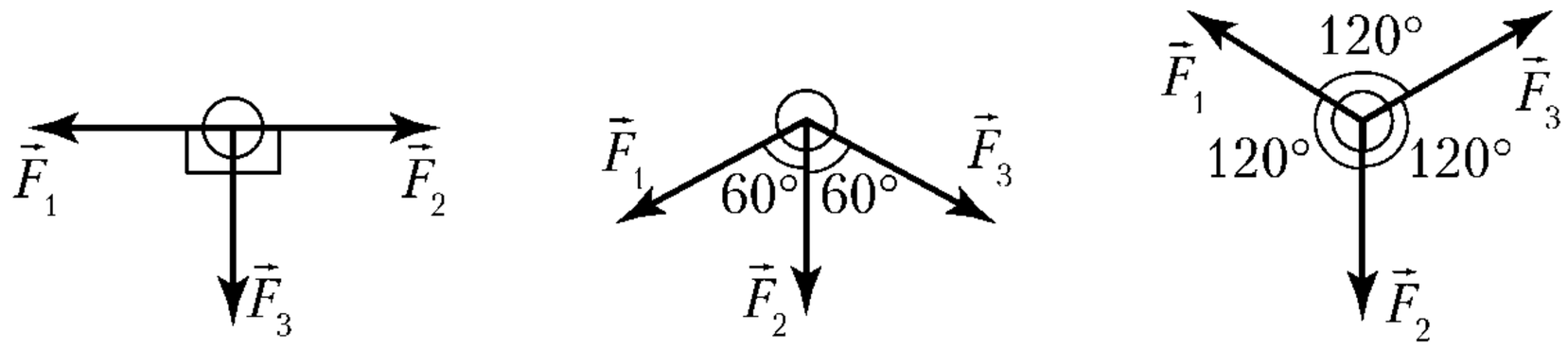


Рис. 77

© MICHAEL GAUTIER

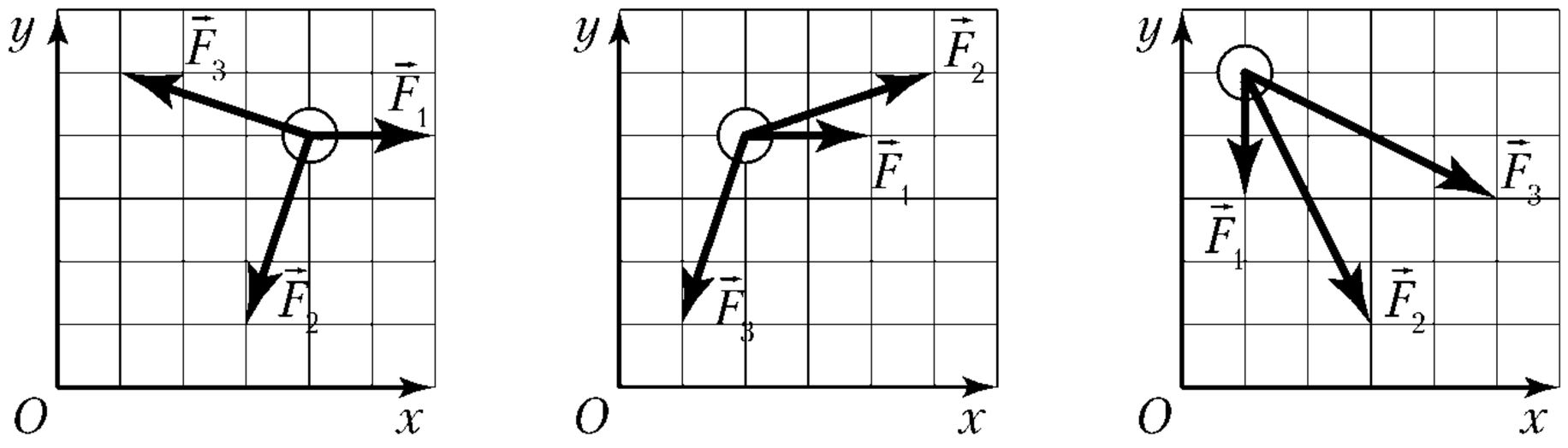
312. На тело действуют три силы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ (рис. 78, *а*, *б*, *в*), лежащие в одной плоскости. Модуль каждой силы равен F. Определите модуль равнодействующей этих сил в каждом случае.



а *б* *в*

Рис. 78

313. На тело действуют три силы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ (рис. 79, *а*, *б*, *в*), расположенные в одной плоскости. Модуль силы $F_1 = 2{,}0\,\text{Н}$ во всех случаях, а модули сил $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_3$ равны между собой. Определите модуль равнодействующей сил для каждого случая.



а *б* *в*

Рис. 79

314. На тело действуют три силы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ (рис. 80). Сила $\vec{F}_3$, модуль которой $F_3 = 10$ Н, составляет угол $\alpha = 30°$ с осью Ox. Силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ перпендикулярны оси Ox. Определите модуль силы F_2, если известно, что модуль силы $F_1 = 5{,}0$ Н, а сумма проекций сил на ось Oy равна нулю.

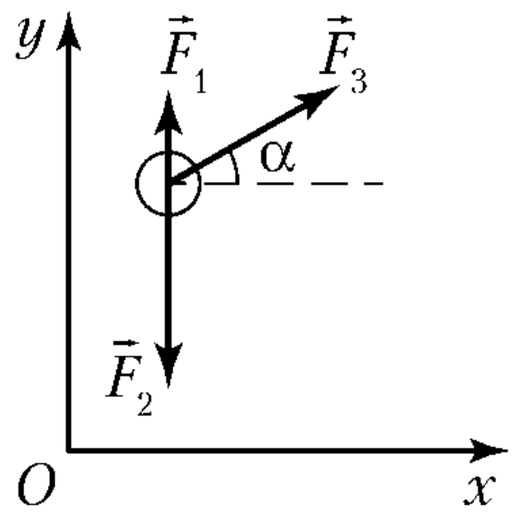


Рис. 80

315. Шарик массой $m = 90$ г подвешен с помощью двух нитей так, что одна нить образует угол $\alpha = 45°$ с вертикалью, а другая проходит горизонтально. Определите модуль силы натяжения горизонтальной нити.

© MICHAEL GAUTIER

316. К нижнему концу троса CB, верхний конец которого прикреплен к стене, подвешен фонарь массой $m = 4{,}0$ кг. С помощью горизонтального стержня AB трос отклонен от вертикали (рис. 81). Определите модуль силы натяжения троса, если угол между тросом и стержнем $\alpha = 30°$. Силами тяжести, действующими на трос и стержень, пренебречь.

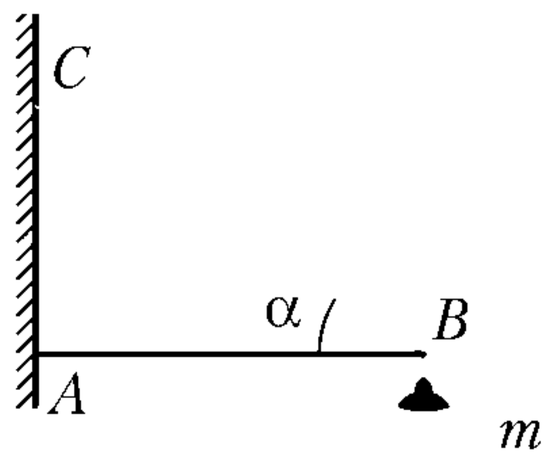


Рис. 81

317. Шар лежит между двумя гладкими плоскостями, образующими двугранный угол. Причем одна из плоскостей расположена вертикально (рис. 82), а ребро угла — горизонтально. Определите угол между плоскостями, если модуль силы действия вертикальной плоскости на шар в $n = 1{,}6$ раза больше модуля действующей на шар силы тяжести.

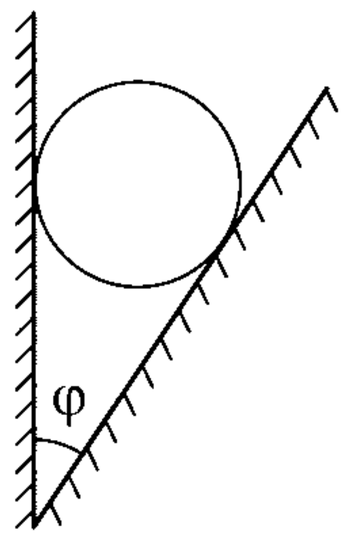


Рис. 82

318. Шар массой $m = 5{,}0$ кг опирается на две гладкие наклонные плоскости, пересекающиеся по горизонтальной прямой. Одна плоскость образует угол $\alpha = 60°$ с горизонтом, а другая — угол $\beta = 30°$. Определите модули сил, с которыми плоскости действуют на шар.

319. К гладкой вертикальной стене на нити длиной $l = 16{,}0$ см подвешен шар радиусом $R = 10{,}0$ см и массой $m = 4{,}8$ кг. Определите модули силы действия стены на шар и силы натяжения нити.

320. Маленький шарик массой m подвешен на невесомой нити длиной l так, что он лежит на поверхности закрепленной сферы радиусом R (рис. 83). Точка подвеса расположена над верхней точкой сферы на высоте h от нее. Определите модули силы натяжения нити и силы, с которой сфера действует на шарик.

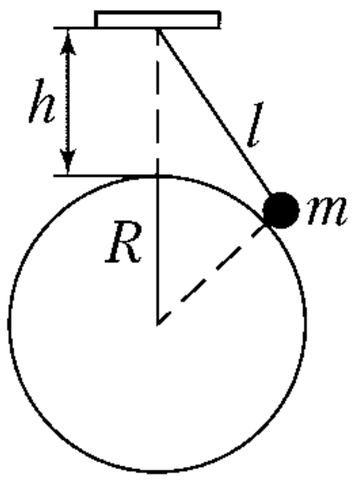


Рис. 83

321. Цилиндр массой $m = 120$ г и радиусом $r = 4{,}0$ см опирается на гладкий закрепленный цилиндр радиусом $R = 6{,}0$ см (рис. 84) и удерживается в равновесии невесомой нитью AB, расположенной горизонтально. Определите модуль силы натяжения нити AB, если ее длина $l = 4{,}0$ см.

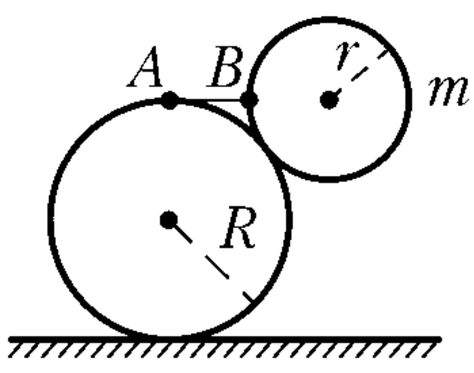


Рис. 84

© MICHAEL GAUTIER

10

Законы Ньютона

Законы Ньютона	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Первый закон Ньютона	$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n = \vec{0}$	$\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, ..., $\vec{F}_n$ — силы, приложенные к телу
Второй закон Ньютона	$\vec{a} = \dfrac{\vec{F}}{m}$	$\vec{a}$ — ускорение движения тела; $\vec{F}$ — равнодействующая всех сил, приложенных к телу; m — масса тела
Третий закон Ньютона	$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$	$\vec{F}_{12}$ — сила, с которой первое тело действует на второе; $\vec{F}_{21}$ — сила, с которой второе тело действует на первое

322. Какие тела действуют на мяч, если он: а) лежит на полке; б) прижат к земле ногой футболиста?

323. Действия каких тел компенсируются в следующих случаях: а) трактор стоит на хозяйственном дворе; б) боксерская груша висит на цепи; в) лопата, черенок которой расположен вертикально, погружена в сугроб снега?

324. Скомпенсированы ли действия тел на шайбу, если она: а) покоится на льду; б) равномерно скользит по льду под действием клюшки хоккеиста; в) скользит по льду с торможением?

325. В каких случаях система отсчета, связанная с автомобилем, является инерциальной, если автомобиль: а) равномерно движется по шоссе; б) равноускоренно и прямолинейно движется по дороге; в) совершает разворот; г) равномерно движется в гору; д) равномерно спускается под гору; е) равноускоренно спускается под гору?

326. С какими телами, выделенными курсивом, можно связать инерциальную систему отсчета: а) с неподвижного *корабля* равно-

© MICHAEL GAUTIER

ускоренно опускают *якорь*; б) *книга* лежит на *столе* в равномерно движущемся *поезде*; в) *всадник* на *лошади* движется по кругу на арене цирка со скоростью, модуль которой остается постоянным?

327. При резком торможении автобуса пассажиры наклоняются вперед. Является ли система отсчета, связанная с автобусом, во время торможения инерциальной? Почему?

328. Автомобиль движется относительно земли прямолинейно и равномерно, а относительно велосипедиста — равноускоренно. Является ли инерциальной система отсчета, связанная с велосипедистом?

329. Определите модуль ускорения, с которым разгоняется реактивный самолет массой $m = 20$ т, если модуль равнодействующей сил, действующих на самолет, $F = 90$ кН.

330. Определите модуль равнодействующей силы, сообщающей катеру массой $m = 200$ кг ускорение, модуль которого $a = 2{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

331. Определите массу автомобиля, останавливающегося под действием равнодействующей силы, модуль которой $F = 5{,}88$ кН. Модуль ускорения автомобиля $a = 2{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

332. Равнодействующая постоянная сила $\vec{F}_1$ ($F_1 = 10$ Н) сообщает санкам ускорение $\vec{a}_1$ $\left(a_1 = 2{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)$. Определите модуль равнодействующей силы, которая сообщит санкам ускорение, модуль которого $a_2 = 4{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

333. Брусок массой $m_1 = 4$ кг под действием некоторой равнодействующей силы приобрел ускорение, модуль которого $a_1 = 0{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите модуль ускорения, которое приобретет брусок массой $m_2 = 10$ кг под действием такой же силы.

334. Детский автомобиль массой $m_1 = 6{,}0$ кг под действием равнодействующей силы, модуль которой $F_1 = 15$ Н, получает некоторое ускорение. Какой должна быть масса автомобиля, чтобы под действием равнодействующей силы, модуль которой $F_2 = 24$ Н, он получил такое же ускорение?

© MICHAEL GAUTIER

335. Без груза автомобиль массой $m = 4{,}0$ т начинает движение с ускорением, модуль которого $a_1 = 0{,}30\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. После загрузки при той же равнодействующей силе он трогается с места с ускорением, модуль которого $a_2 = 0{,}20\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите массу груза.

336. К бруску массой $m = 4{,}0$ кг прилагают одновременно две силы, модули которых $F_1 = 64$ Н и $F_2 = 16$ Н. Определите модули максимального и минимального ускорений, которые могут сообщить бруску эти силы.

337. На лодку массой $m = 50$ кг действуют текущая вода с силой $\vec{F}_1$ и ветер, дующий с берега, с силой $\vec{F}_2$, модуль которой $F_2 = 30$ Н. Лодка движется с ускорением $\vec{a}\left(a = 1{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)$. Определите модуль силы текущей воды.

338. Заводная игрушка массой $m = 6{,}0$ кг, начавшая двигаться из состояния покоя прямолинейно под действием постоянной равнодействующей силы, прошла за время $t = 3{,}0$ с путь $s = 15$ м. Определите модуль равнодействующей силы.

339. Автомобиль массой $m = 2{,}0$ т, двигавшийся со скоростью, модуль которой $v_0 = 36\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$, остановился, пройдя по прямой после начала торможения путь $s = 25$ м. Определите модуль равнодействующей силы.

340. Определите силу, которую необходимо приложить в горизонтальном направлении к бруску массой $m = 1$ кг, неподвижно лежащему на горизонтальной поверхности, чтобы через время $t = 2$ с он приобрел скорость, модуль которой $v = 2\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Известно, что модуль силы сопротивления при движении бруска $F_c = 3$ Н.

341. Шахта оборудована лифтом массой $m = 1{,}0 \cdot 10^3$ кг. Определите модуль силы натяжения троса, при помощи которого кабина лифта: а) поднимается с ускорением, модуль которого $a = 1{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, направленным вверх; б) опускается с ускорением, модуль которого $a = 1{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, направленным вниз; в) поднимается с постоянной скоростью.

© MICHAEL GAUTIER

342. Определите модуль ускорения, с которым поднимают груз на веревке, если сила натяжения веревки увеличилась втрое по сравнению с силой натяжения, когда груз поднимали равномерно.

343. На нити, выдерживающей силу натяжения, модуль которой $F_{max} = 10$ Н, поднимают груз массой $m = 0{,}50$ кг вертикально вверх. Считая движение равноускоренным, определите предельную высоту, на которую можно поднять груз за время $t = 1{,}0$ с так, чтобы нить не оборвалась. Начальная скорость равна нулю.

344. Радиоуправляемый игрушечный автомобиль массой $m = 1$ кг движется вдоль оси Ox по горизонтальной поверхности. Уравнение проекции скорости движения автомобиля на эту ось имеет вид: $v_x = At$, где $A = 0{,}6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите модуль силы тяги, действующей в направлении перемещения автомобиля. Известно, что модуль силы тяги в $n = 3$ раза больше модуля силы сопротивления.

345. Зависимость проекции скорости движения груза массой $m = 0{,}6$ кг, который поднимают вертикально вверх с помощью троса, от времени представлена на графике (рис. 85). Определите модуль силы натяжения троса.

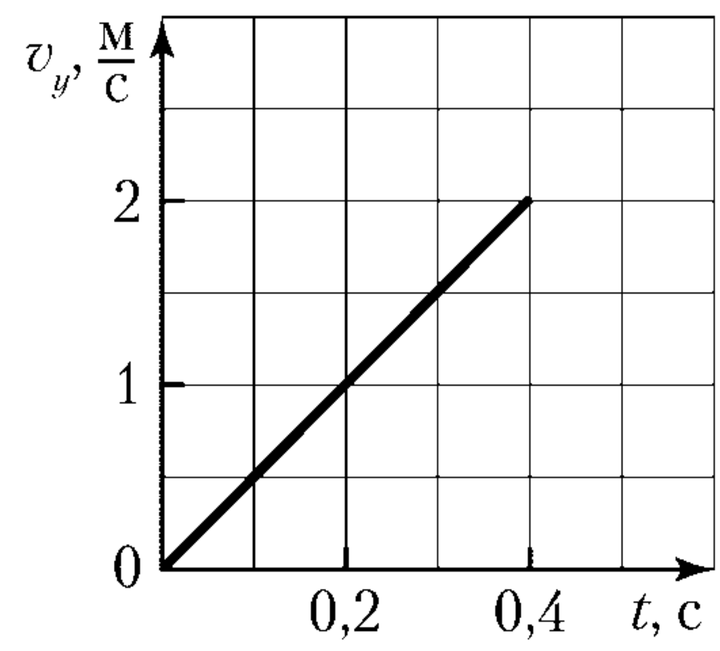


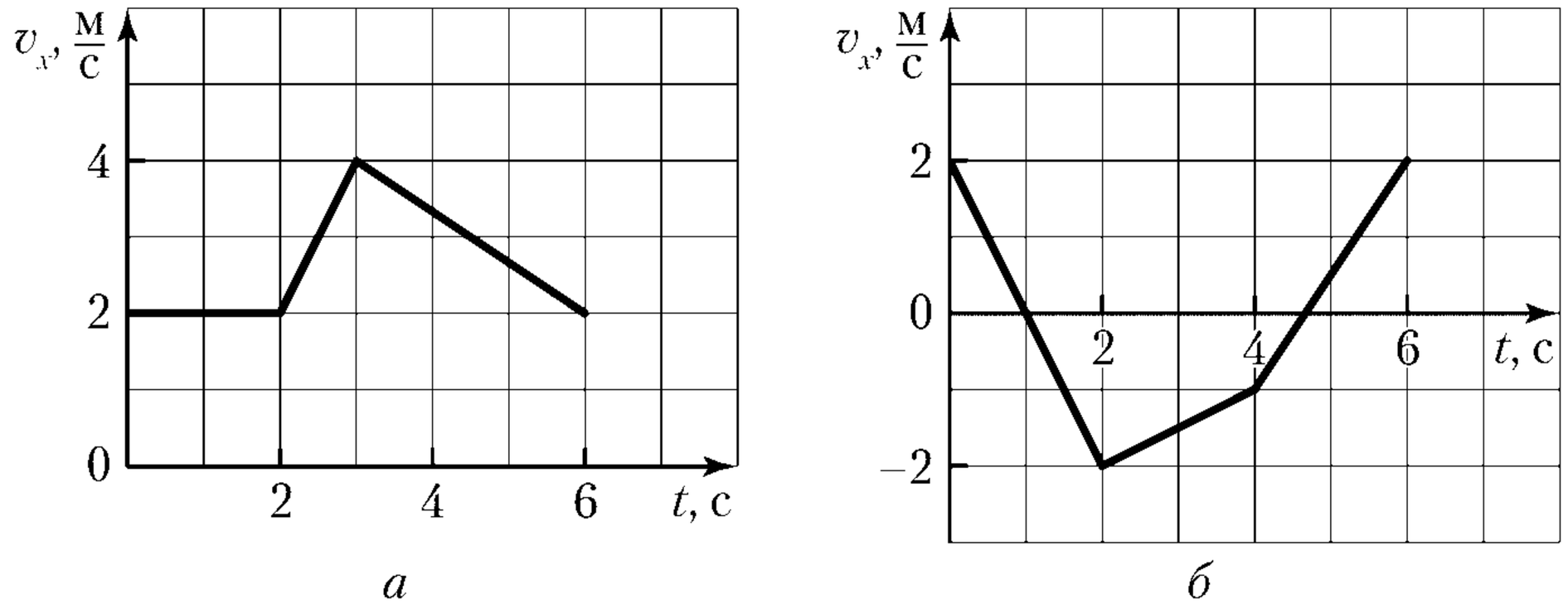
Рис. 85

346. Кинематический закон движения тележки вдоль оси координат Ox имеет вид: $x = A + Bt + Ct^2$, где $A = 8$ м, $B = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C = -0{,}2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите массу тележки, если проекция на ось Ox равнодействующей сил, приложенных к тележке, $F_x = -0{,}8$ Н.

347. Тело массой $m = 0{,}5$ кг движется вдоль оси Ox под действием двух сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, направленных вдоль оси. Зависимость проекции скорости движения тела на ось Ox от времени имеет вид: $v_x = A + Bt$, где $A = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $B = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Проекция силы $\vec{F}_1$ на ось Ox равна $F_{1x} = -3$ Н. Определите проекцию силы $\vec{F}_2$ на эту же ось.

© MICHAEL GAUTIER

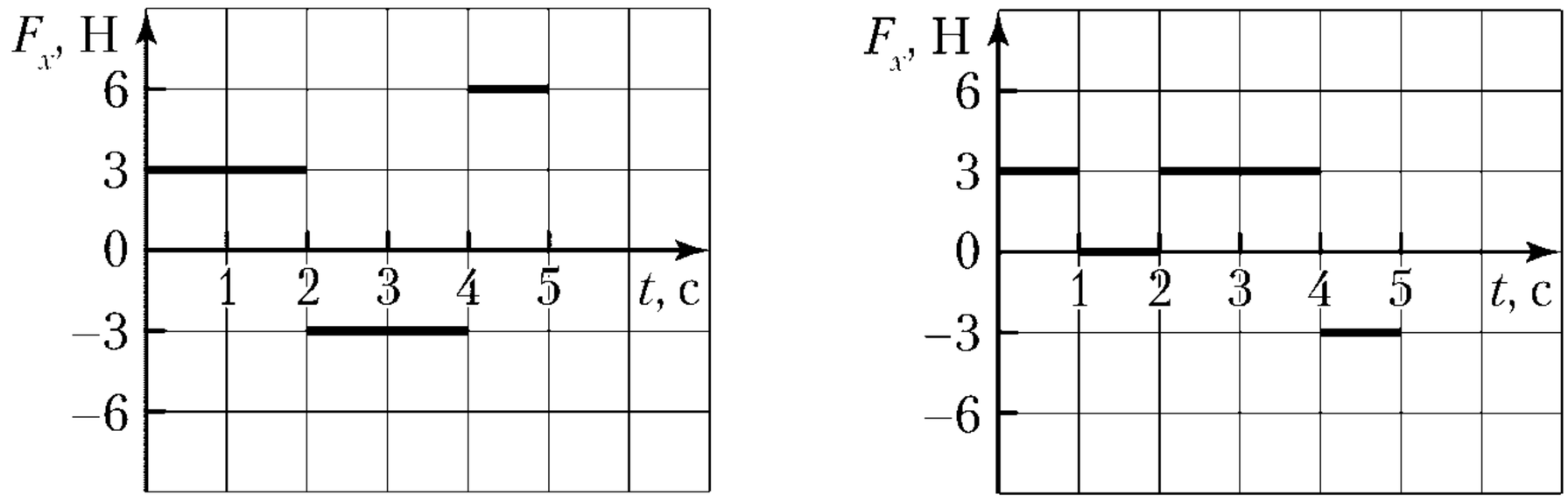
348. Игрушечный автомобиль массой $m = 0{,}5$ кг движется вдоль оси Ox. На рисунке 86, *а*, *б* представлены графики зависимости проекции скорости от времени. Постройте графики зависимости проекций равнодействующей сил на ось Ox от времени.



а *б*

Рис. 86

349. Брус массой $m = 3$ кг движется вдоль оси Ox. На рисунке 87, *а*, *б* представлены графики зависимости проекций равнодействующей приложенных к брусу сил от времени. Постройте графики зависимости проекций ускорения и скорости на ось Ox от времени. Начальная скорость бруса равна нулю в обоих случаях.



а *б*

Рис. 87

350. Какую массу балласта надо сбросить с равномерно опускающегося аэростата, чтобы он начал равномерно подниматься с той же по модулю скоростью? Масса аэростата с балластом $m_1 = 1{,}2 \cdot 10^3$ кг. Модуль подъемной силы аэростата $F_п = 8$ кН. Модуль силы сопротивления воздуха считать одинаковым при спуске и подъеме аэростата.

351. Веревка выдерживает груз массой $m_1 = 200$ кг при вертикальном подъеме его с некоторым ускорением и груз массой $m_2 = 600$ кг

© MICHAEL GAUTIER

при опускании его с таким же по модулю ускорением. Определите максимальную массу груза, который можно поднимать (либо опускать) на этой веревке с постоянной скоростью.

352. Теннисный мяч массой $m = 40$ г был брошен вертикально вверх с начальной скоростью, модуль которой $v_0 = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, и достиг высшей точки подъема через время $t = 2{,}5$ с. Считая силу сопротивления воздуха, действующую на мяч во время движения, постоянной, определите модуль этой силы.

353. Камень, скользящий прямолинейно по горизонтальной поверхности, остановился, пройдя путь $s = 20$ м. Определите модуль скорости камня до начала торможения, если модуль силы трения между камнем и поверхностью составляет 4 % от модуля силы тяжести, действующей на камень.

354. Шар массой $m = 0{,}50$ кг, падая без начальной скорости с высоты $h_1 = 10$ м на снег, проваливается в него на глубину $h_2 = 80$ см. Модуль силы сопротивления воздуха $F_1 = 0{,}60$ Н. Считая движение в воздухе и снегу равнопеременным, определите модуль силы сопротивления при движении шара в снегу. Высота h_1 отсчитывается от поверхности снега.

355. Через какое время мяч, брошенный с поверхности земли вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, упадет обратно на поверхность земли? Силу сопротивления воздуха принять не зависящей от скорости, а модуль этой силы составляет $\eta = 0{,}60$ от модуля действующей на мяч силы тяжести.

356. На брусок массой $m = 2{,}0$ кг, находящийся на гладком горизонтальном столе, действует сила $\vec{F}$ ($F = 30$ Н), направленная вверх под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Определите модуль силы, с которой стол действует на брусок, и модуль ускорения бруска.

357. Бусинка скользит по гладкому стержню, составляющему угол $\alpha = 60°$ с вертикалью. Определите модуль ускорения бусинки.

358. О переднее стекло движущегося автомобиля ударился комар. Сравните силу $\vec{F}_1$, с которой комар подействовал на стекло, и силу $\vec{F}_2$, с которой стекло подействовало на комара.

© MICHAEL GAUTIER

359. При отталкивании от трамплина на прыгуна в воду действует сила упругости $\vec{F}_1$. На основании третьего закона Ньютона поясните, модулю какой силы $\vec{F}_2$ равен модуль силы $\vec{F}_1$. К чему приложена сила $\vec{F}_2$?

360. При толкании на спортивное ядро действует сила упругости $\vec{F}_1$ руки спортсмена. На основании третьего закона Ньютона поясните, модулю какой силы $\vec{F}_2$ равен модуль силы $\vec{F}_1$. К чему приложена сила $\vec{F}_2$?

361. При взвешивании на рычажных весах гиря действует на чашу весов с силой $\vec{P}$, модуль которой равен P. Согласно третьему закону Ньютона чаша действует на взвешиваемую гирю с силой $\vec{F}$, модуль которой также равен P. Почему же нарушается равновесие весов?

362. Разорвется ли жгут, выдерживающий силу натяжения $F = 150$ Н, если его тянут в противоположных направлениях два человека с силой, модуль которой $F_1 = F_2 = 100$ Н. Ответ аргументируйте.

363. Аквариум давит на стол с силой $\vec{F}_1$, модуль которой $F_1 = 200$ Н. Согласно третьему закону Ньютона стол действует на аквариум с силой $\vec{F}_2$, модуль которой $F_2 = 200$ Н. Имеет ли смысл постановка следующего вопроса: «Чему равна равнодействующая сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$?» Почему?

364. Легкую пружину сначала сжали, затем связали нитью и положили на гладкий стол. К каждому концу пружины вплотную положили по одному шарику равного диаметра. Затем нить пережгли. Одинаковы ли модули сил, с которыми пружина подействовала на шарики? Рассмотрите случаи: а) шарики равной массы; б) шарики разной массы.

365. Студент провел два эксперимента по растягиванию легкой пружины. Сначала он тянул руками пружину за концы в противоположные стороны, прилагая со стороны каждой руки мускульную силу, модуль которой $F_1 = 10$ Н. Затем он прикрепил один конец пружины к стене, а к другому приложил мускульную силу руки, модуль которой $F_2 = 20$ Н. На одинаковую ли длину растягивалась пружина в обоих случаях?

366. Брусок массой $m_1 = 0{,}4$ кг во время столкновения с бруском массой $m_2 = 1{,}0$ кг получил ускорение, модуль среднего значения которого $\langle a_1 \rangle = 1{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите модуль среднего ускорения, которое получил в это время брусок массой m_2.

© MICHAEL GAUTIER

367. Определите отношение модулей средних ускорений двух однородных шаров равного диаметра во время столкновения, если один из шаров латунный, а другой — пластмассовый. Плотность латуни $\rho_л = 8{,}5 \frac{г}{см^3}$, пластмассы $\rho_п = 1{,}7 \frac{г}{см^3}$.

368. Определите отношение модулей средних ускорений двух железных шаров, полученных во время столкновения, если их радиусы отличаются в 2 раза.

369. Две тележки массами $m_1 = 0{,}4$ кг и $m_2 = 0{,}6$ кг двигались навстречу друг другу и после удара остановились. Определите модуль скорости движения второй тележки непосредственно перед ударом, если первая до взаимодействия имела скорость, модуль которой $v_1 = 3 \frac{м}{с}$.

370. Вагон массой $m_1 = 60$ т движется к неподвижной платформе со скоростью, модуль которой $v_{01} = 0{,}3 \frac{м}{с}$, и упирается в нее пружинными буферами. Платформа массой $m_2 = 15$ т получает в результате взаимодействия с буферами вагона скорость, модуль которой $v_2 = 0{,}4 \frac{м}{с}$. Определите модуль скорости вагона сразу же после взаимодействия.

371. Фигуристка и фигурист, оттолкнувшись друг от друга, стали двигаться в противоположных направлениях со скоростями, модули которых $v_1 = 0{,}70 \frac{м}{с}$ и $v_2 = 0{,}50 \frac{м}{с}$. Определите массы спортсменов, если масса фигуристки на $\Delta m = 20$ кг меньше массы фигуриста.

372. Два мальчика, массы которых $m_1 = 40$ кг и $m_2 = 50$ кг, стоят на коньках на льду. Первый мальчик отталкивается от второго с силой, модуль которой $F_1 = 10$ Н. Определите модули ускорений, которые получат мальчики при отталкивании. Силой трения пренебречь.

373. Кабина лифта поднимается с ускорением, модуль которого $a = 2{,}0 \frac{м}{с^2}$. На полу кабины лежит коробка массой $m = 6{,}0$ кг. Определите модуль силы, с которой коробка действует на пол кабины. Ускорение кабины направлено вертикально вверх.

© MICHAEL GAUTIER

374. Брусок перемещают вверх вдоль вертикальной стены, прикладывая к нему силу, направленную под углом α к вертикали. Определите угол α, если известно, что модуль силы нормального давления бруска на стену вдвое меньше модуля приложенной силы.

375. Шарик массой $m = 50$ г, подвешенный на нерастяжимой нити длиной $l = 40$ см, отклонили от положения равновесия и отпустили. При прохождении положения равновесия модуль скорости движения шарика $v = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль силы, с которой шарик действует на нить при прохождении им положения равновесия.

376. Предположим, что автомобиль с постоянной скоростью движется по горной дороге. В каких точках сила давления автомобиля на дорогу принимает максимальное и минимальное значения: а) на вершине холма; б) в низшей точке вогнутой долины, соединяющей два холма; в) на ровной дороге у подножия холма?

377. На горизонтальном диске, который вращается вокруг неподвижной вертикальной оси с угловой скоростью ω, лежит гайка массой m. Определите модуль силы взаимодействия гайки с диском, если расстояние между центром гайки и осью вращения равно r.

378. На гладкой горизонтальной поверхности, касаясь друг друга, лежат три одинаковых кубика (рис. 88) массой $m = 2$ кг каждый. На первый кубик в горизонтальном направлении действует сила, модуль которой $F = 6$ Н. При этом все кубики движутся с одинаковым ускорением. Определите модули силы давления первого кубика на второй и второго — на третий.

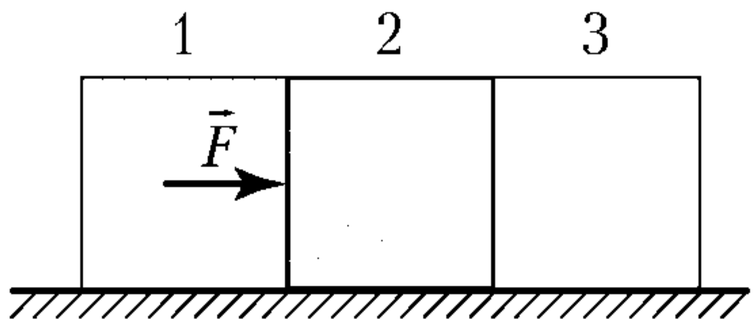


Рис. 88

379. (э) Используя два динамометра с разной ценой деления, экспериментально проверьте выполнение третьего закона Ньютона.

380. (э) Как с помощью рулетки сравнить массы двух стоящих на коньках на скользком льду конькобежцев?

381. (э) Экспериментально подтвердите изменение веса тела при его движении вверх с ускорением.

Оборудование: резиновый жгут, груз.

382. (э) Продемонстрируйте изменение вашего веса.

Оборудование: напольные весы.

© MICHAEL GAUTIER

11

Сила упругости

Физическая величина или физический закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Изменение длины упруго деформированного тела	$\Delta l = l - l_0$	Δl — изменение длины тела при его растяжении или сжатии; l — длина упруго деформированного тела; l_0 — длина недеформированного тела
Закон Гука	$F_{\text{упр}} = k\lvert\Delta l\rvert$ $(F_{\text{упр}})_x = -kx$	$F_{\text{упр}}$ — модуль силы упругости; k — жесткость тела; $\lvert\Delta l\rvert$ — модуль изменения длины тела; x — проекция удлинения на ось Ox

383. Определите жесткость пружины, которая под действием силы, модуль которой $F = 6{,}0$ Н, удлинилась на $\Delta l = 4{,}0$ см.

384. К пружине подвешен груз массой $m = 120$ г. Определите удлинение пружины, если ее жесткость $k = 20\,\frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

385. К резиновому жгуту жесткостью $k = 25\,\frac{\text{Н}}{\text{м}}$ подвешен груз массой $m = 100$ г. При этом длина жгута $l = 26$ см. Определите длину недеформированного жгута.

386. Жесткость резинового жгута равна k. Чему равна жесткость половины жгута?

387. Жесткость резинового жгута равна k. Чему равна жесткость этого жгута, сложенного вдвое?

388. Резиновая упругая полоска под действием некоторой силы удлинилась на $\Delta l = 4$ см. На сколько удлинится половина этой полоски под действием той же силы? Рассмотрите случаи: а) полоску разрезали вдоль; б) полоску разрезали поперек.

© MICHAEL GAUTIER

389. Жесткость стальной проволоки $k = 1{,}0 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. К концу троса, сплетенного из 10 таких проволок, подвесили груз массой $m = 200$ кг. На сколько удлинился трос?

390. Пружину игрушечного пистолета сжали на $|\Delta l| = 50$ мм. Определите модуль начального ускорения шарика массой $m = 10$ г, которым заряжен пистолет, при выстреле в горизонтальном направлении, если жесткость пружины $k = 10 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Силой сопротивления пренебречь.

391. Грузовой автомобиль взял на буксир легковой автомобиль массой $m = 2{,}0$ т и, двигаясь равноускоренно, за время $t = 5{,}0$ с проехал путь $s = 10$ м. Начальная скорость автомобилей равна нулю. Определите удлинение троса, соединяющего автомобили, если его жесткость $k = 2{,}0 \frac{\text{МН}}{\text{м}}$. Силой сопротивления, действующей на легковой автомобиль, пренебречь.

392. Тепловоз массой m_1 толкает вагон массой m_2. Под действием силы давления тепловоза на вагон буферная пружина жесткостью k сжимается на величину $|\Delta l|$. Определите модули ускорения вагона и силы давления тепловоза. Силой сопротивления, действующей на вагон, пренебречь.

393. Груз массой $m = 10$ кг с помощью троса поднимают вертикально вверх на высоту $h = 8{,}0$ м за время $t = 4{,}0$ с. Определите модуль силы упругости троса и его удлинение, если жесткость троса $k = 2{,}2 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Начальная скорость груза равна нулю.

394. Груз массой $m = 0{,}20$ кг поднимают вертикально вверх с помощью упругой пружины, прикрепленной к нему. График зависимости модуля скорости движения груза от времени изображен на рисунке 89. Определите модуль силы упругости пружины.

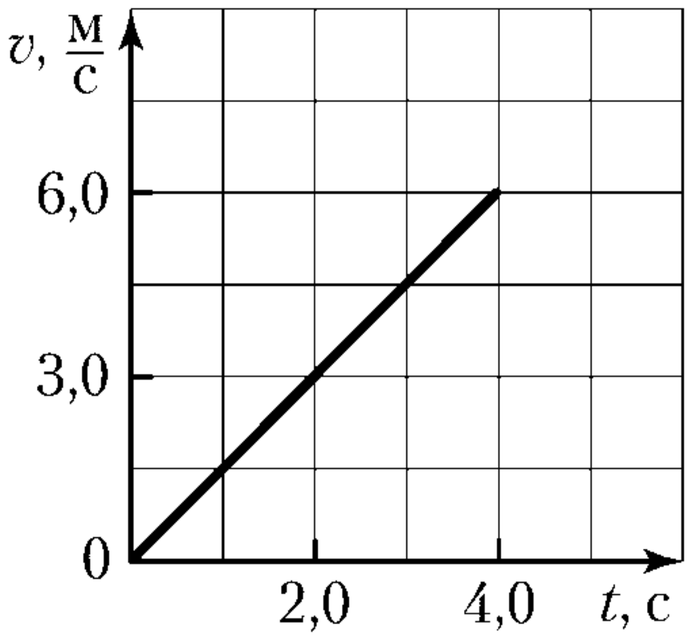


Рис. 89

© MICHAEL GAUTIER

395. Груз поднимают на легком резиновом шнуре вертикально вверх с ускорением, модуль которого $a = 6\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, а затем опускают вниз с тем же по модулю ускорением. Определите отношение удлинений шнура.

396. Гирю массой $m = 7{,}0$ кг без начальной скорости поднимают вертикально вверх на алюминиевой проволоке жесткостью $k = 0{,}14\ \frac{\text{МН}}{\text{м}}$. График зависимости модуля перемещения гири от времени изображен на рисунке 90. Определите удлинение проволоки, если начальная скорость гири равна нулю.

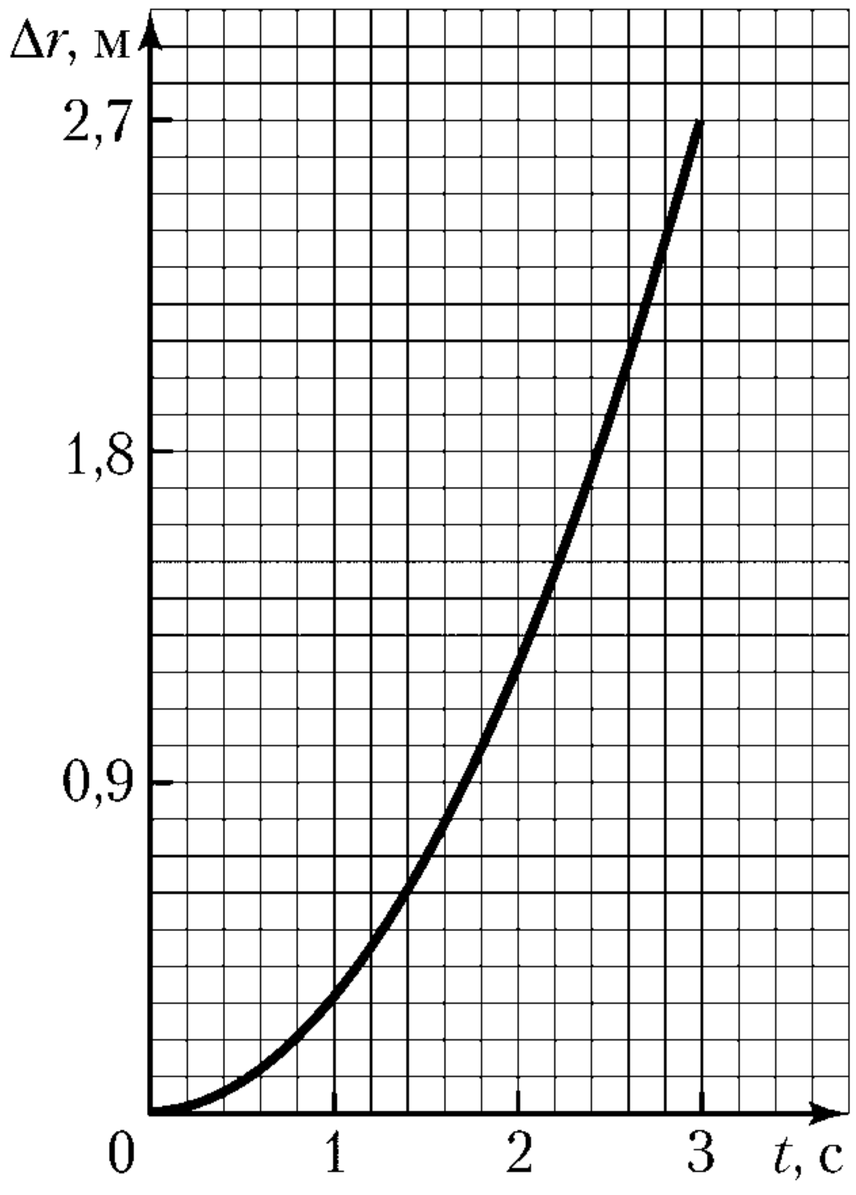
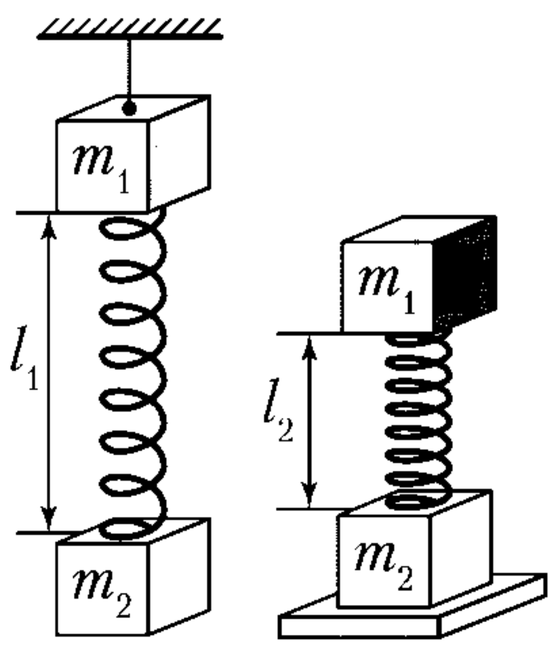


Рис. 90

397. Брусок массой $m = 2$ кг тянут равноускоренно по гладкой горизонтальной поверхности с помощью легкой пружины, составляющей угол $\alpha = 60°$ с горизонтом. Жесткость пружины $k = 40\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Чему равно удлинение пружины, если модуль ускорения бруска $a = 2\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$?

398. В кабине лифта, опускающейся с постоянным ускорением, модуль которого $a = 1{,}2\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, на легкой пружине жесткостью $k = 110\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ висит груз. Определите массу груза, если удлинение пружины $\Delta l = 1{,}6$ см.

399. Легкая пружина соединяет два груза массами m_1 и m_2. Когда система закреплена за верхний груз, длина пружины равна l_1 (рис. 91, *а*), а когда система поставлена на нижний груз, то длина пружины равна l_2 (рис. 91, *б*). Определите длину недеформированной пружины.



а *б*

Рис. 91

© MICHAEL GAUTIER

400. Если к нижнему концу вертикально висящей легкой пружины прикрепить груз, то ее длина станет равной l_1. Если другой такой же груз, не снимая первого, прикрепить к середине пружины, то ее длина возрастет до l_2. Определите длину пружины в недеформированном состоянии.

401. К легкой упругой пружине поочередно подвешивали грузы: сначала массой $m_1 = 180$ г, затем — $m_2 = 420$ г. В первом случае длина пружины $l_1 = 22{,}8$ см, во втором — $l_2 = 26{,}0$ см. Определите жесткость пружины.

402. Горизонтальный стержень вращается вокруг вертикальной оси с частотой ν. По стержню без трения может скользить муфта массой m, прикрепленная к оси пружиной, жесткость которой равна k. Какую длину будет иметь пружина при вращении стержня, если ее длина в недеформированном состоянии равна l_0? Размерами муфты пренебречь.

403. (э) Экспериментально определите прочность нити, т. е. максимальную деформирующую силу, которую выдерживает нить, не разрываясь.

Оборудование: набор нитей разной прочности, бытовые пружинные весы с крючком (безмен).

12

Сила трения

Физическая величина	**Формула**	**Физические величины, входящие в формулу**
Сила трения покоя	$\vec{F}_{\text{тр пок}} = -\vec{F}$	$\vec{F}_{\text{тр пок}}$ — сила трения покоя; $\vec{F}$ — сила, стремящаяся сдвинуть тело и направленная вдоль поверхности соприкосновения тела и поверхности

© MICHAEL GAUTIER

Физическая величина	**Формула**	**Физические величины, входящие в формулу**
Модуль максимальной силы трения покоя	$F_{\text{тр пок}}^{\text{макс}} = \mu_{\text{пок}} N$	$F_{\text{тр пок}}^{\text{макс}}$ — модуль максимальной силы трения покоя; $\mu_{\text{пок}}$ — коэффициент трения покоя; N — модуль нормальной силы реакции опоры
Модуль силы трения скольжения	$F_{\text{тр}} = \mu N$	$F_{\text{тр}}$ — модуль силы трения скольжения; μ — коэффициент трения скольжения; N — модуль нормальной силы реакции опоры

404. Определите модуль силы трения скольжения, действующей на книгу при перемещении ее по поверхности стола. Коэффициент трения скольжения $\mu = 0{,}40$, модуль силы давления книги на стол $F_{\text{д}} = 9{,}0$ Н.

405. Модуль силы трения, действующей на бобслейные сани (боб) со спортсменами, $F_{\text{тр}} = 0{,}16$ кН. Определите коэффициент трения саней по льду, если модуль нормальной составляющей силы реакции льда $N = 3{,}2$ кН.

406. Брусок массой $m = 750$ г равномерно перемещается по горизонтальной поверхности под действием горизонтально направленной силы, модуль которой $F = 2{,}4$ Н. Определите коэффициент трения бруска о поверхность.

407. Брусок массой $m = 3{,}0$ кг с помощью горизонтальной невесомой пружины тянут равномерно по доске, расположенной горизонтально. Определите жесткость пружины, если она удлинилась на $\Delta l = 50$ мм. Коэффициент трения между бруском и доской $\mu = 0{,}25$.

408. Брусок массой $m = 2{,}0$ кг под действием горизонтально направленной силы движется по горизонтальной поверхности с ускорением, модуль которого $a = 1{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите модуль этой силы, если коэффициент трения между бруском и поверхностью $\mu = 0{,}20$.

© MICHAEL GAUTIER

409. Брусок массой $m = 4{,}0$ кг начали двигать по горизонтальной поверхности. Определите модуль горизонтально направленной силы, которая была приложена к бруску, если при коэффициенте трения скольжения $\mu = 0{,}20$ через время $t = 3{,}0$ с после начала движения он разогнался до скорости, модуль которой $v = 0{,}90\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

410. Определите модуль скорости, с которой двигался автомобиль по горизонтальной дороге, если длина следа при аварийном торможении до полной остановки оказалась равной $l = 24$ м. Коэффициент трения покрышек колес о дорогу $\mu = 0{,}30$.

411. Брусок массой $m = 1{,}0$ кг начал двигаться по горизонтальной поверхности под действием постоянной горизонтально направленной силы. Определите модуль этой силы, если при коэффициенте трения скольжения $\mu = 0{,}10$ за время $t = 10$ с брусок прошел путь $s = 50$ м.

412. Поезд массой $m = 4 \cdot 10^5$ кг, двигавшийся по горизонтальному прямолинейному участку дороги, начал тормозить так, что его координата с течением времени изменялась в соответствии с уравнением $x = A + Bt + Ct^2$, где $A = 0{,}8$ км, $B = 8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C = -0{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите: а) модуль силы трения, действующей на поезд; б) коэффициент трения; в) время торможения поезда до полной остановки.

413. Коробка массой $m = 15$ кг лежит на полу равноускоренно опускающейся кабины лифта. Модуль ускорения кабины $a = 1{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите модуль минимальной горизонтально направленной силы, которую надо приложить к коробке, чтобы сдвинуть ее с места. Коэффициент трения скольжения коробки по полу кабины $\mu = 0{,}60$.

414. Брусок массой $m = 10$ кг движется по горизонтальной плоскости под действием силы $\vec{F}$, направленной под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Определите модуль силы трения, действующей на брусок, если коэффициент трения $\mu = 0{,}20$, модуль силы $F = 30$ Н.

415. Мальчик тянет санки массой m с помощью невесомой веревки, составляющей угол α с горизонтом. Коэффициент трения между санками и горизонтальной поверхностью равен μ. Определите модуль силы натяжения веревки, если санки движутся равномерно.

© MICHAEL GAUTIER

416. Рабочий тянет по полу ящик массой $m = 60$ кг с помощью легкой веревки, составляющей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом. Определите модуль ускорения ящика, если модуль силы натяжения веревки $F = 240$ Н, коэффициент трения $\mu = 0{,}35$.

417. К саням приварен жесткий стержень, расположенный под углом $\alpha = 45°$ к горизонту. Человек сначала толкает сани с силой $\vec{F}_1$, а затем тянет их с силой $\vec{F}_2$. (Силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ направлены вдоль стержня.) Определите отношение модулей сил $\frac{F_1}{F_2}$, если сани в обоих случаях движутся равномерно. Коэффициент трения $\mu = 0{,}20$.

418. Нить продета через бусинку массой $m = 10$ г и натянута вертикально. Бусинка соскальзывает по нити. Определите модуль ускорения бусинки, если модуль силы трения, действующей на бусинку, $F_{тр} = 0{,}05$ Н.

419. Магнит массой $m = 50$ г притянут к железной вертикальной пластине. Для равномерного скольжения магнита вниз прикладывают вертикально направленную силу, модуль которой $F_1 = 2$ Н. Определите модуль минимальной силы, которую надо приложить к магниту, чтобы он начал скользить вверх.

420. Штукатурщик перемещает шлифовальную терку массой $m = 0{,}80$ кг вверх вдоль вертикальной стены, прилагая силу $\vec{F}$, направленную под углом $\alpha = 30°$ к вертикали. Модуль силы $F = 22$ Н. Определите модуль ускорения терки, если коэффициент трения между теркой и стеной $\mu = 0{,}95$.

421. На рисунке 92 представлен график зависимости проекции скорости движения шайбы, скользящей по горизонтальному льду, от времени. Определите коэффициент трения между шайбой и льдом.

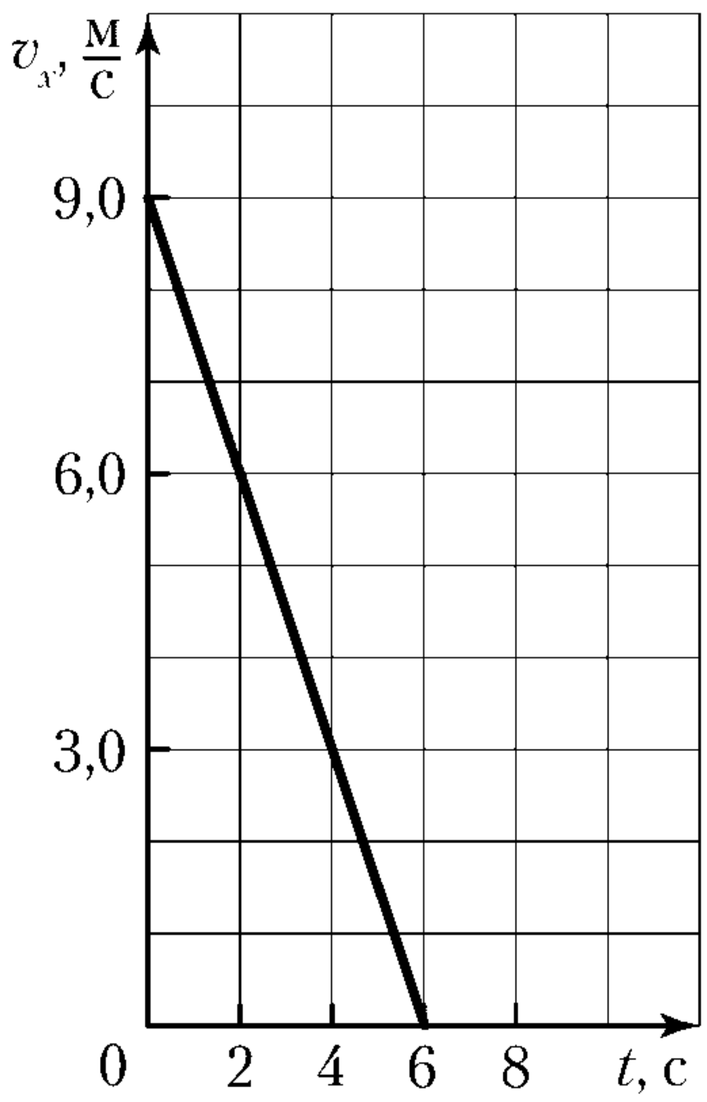


Рис. 92

422. Всегда ли сила трения направлена против скорости движения тела?

© MICHAEL GAUTIER

423. Брусок массой $m = 2{,}0$ кг находится на горизонтальной плоскости. Коэффициент трения $\mu = 0{,}20$. Постройте графики зависимости модулей силы трения и ускорения бруска от модуля горизонтально направленной силы, приложенной к бруску.

424. Брусок массой $m = 1$ кг находится на горизонтальной плоскости. Коэффициент трения $\mu = 0{,}1$. На брусок действует горизонтально направленная сила $\vec{F}$. Определите модуль силы трения, если модуль силы F равен: а) 0,5 Н; б) 2 Н.

425. К чемодану массой $m = 10$ кг, находящемуся на горизонтальной плоскости, приложена направленная вверх под углом $\alpha = 30°$ к горизонту сила, модуль которой $F = 10$ Н. Определите модуль силы трения, действующей на чемодан, если коэффициент трения чемодана по плоскости: а) $\mu = 0{,}20$; б) $\mu = 0{,}01$.

426. Определите модуль минимальной силы, направленной горизонтально, с которой нужно прижать доску к вертикальной стене, чтобы она не соскользнула вниз. Масса доски $m = 4{,}8$ кг, коэффициент трения между доской и стеной $\mu = 0{,}40$.

427. Лежащее на горизонтальной поверхности тело приходит в движение под действием горизонтально направленной силы, модуль которой в 2 раза меньше модуля действующей на тело силы тяжести. Сила действует в течение времени $t = 2{,}0$ с, а затем ее действие прекращается. Определите коэффициент трения между телом и поверхностью, если путь, пройденный телом от начала движения до остановки, $s = 15$ м.

428. На ящик, покоящийся на горизонтальной поверхности, начала действовать сила $\vec{F}$, направленная вверх под углом α к горизонту. Причем $\sin\alpha = 0{,}6$. Модуль силы $F = 100$ Н. Спустя время $t_1 = 10$ с, когда ящик переместился на $\Delta r = 25$ м, действие силы $\vec{F}$ прекратилось. Определите время, в течение которого ящик двигался с торможением до полной остановки, если его масса $m = 20$ кг.

429. Пять листов картона массой $m = 0{,}4$ кг каждый сложены стопкой. Определите модуль минимальной горизонтально направленной силы, которую необходимо приложить к среднему листу, чтобы вытащить его из стопки, при коэффициенте трения между листами $\mu = 0{,}3$.

© MICHAEL GAUTIER

430. Два одинаковых бруска массой $m = 1$ кг каждый лежат стопкой на полу. Верхний брусок с помощью нити, расположенной горизонтально, привязан к стене (рис. 93). Определите модуль минимальной силы $\vec{F}$, которую необходимо приложить в горизонтальном направлении к нижнему бруску, чтобы вытянуть его из-под верхнего бруска. Коэффициент трения между брусками и бруском и полом одинаков и равен $\mu = 0{,}3$.

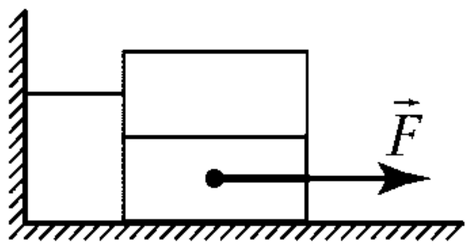


Рис. 93

431. Доска массой $m_1 = 12{,}0$ кг находится на гладкой горизонтальной плоскости. На доске лежит брусок массой $m_2 = 3{,}0$ кг. Коэффициент трения между доской и бруском $\mu = 0{,}20$. Определите модуль минимальной горизонтально направленной силы, которую надо приложить: а) к доске, чтобы брусок начал с нее соскальзывать; б) к бруску, чтобы он начал соскальзывать с доски.

432. Тележка массой $m_1 = 16{,}0$ кг может катиться по гладкой горизонтальной поверхности. На тележке лежит брусок массой $m_2 = 4{,}0$ кг. Коэффициент трения между бруском и тележкой $\mu = 0{,}20$. К бруску в горизонтальном направлении прикладывают силу $\vec{F}$. Определите модули ускорений бруска и тележки, если модуль силы F равен: а) 2,0 Н; б) 16,0 Н.

433. На доске массой $m_1 = 4$ кг, лежащей на горизонтальном полу, находится брусок массой $m_2 = 1$ кг. Коэффициент трения между доской и полом $\mu_1 = 0{,}4$, между бруском и доской $\mu_2 = 0{,}2$. Определите модуль наименьшей горизонтально направленной силы, которую надо приложить к доске, чтобы брусок с нее соскользнул.

434. Почему скорость автомобиля при движении по горизонтальной поверхности, несмотря на постоянную подачу топлива, не возрастает бесконечно?

435. Почему тетрадный лист не удается бросить дальше такого же листа, смятого в комок?

436. Силикатный блок массой $m = 7{,}0$ кг упал без начальной скорости с высоты $h = 7{,}0$ м строящегося дома. Определите модуль силы сопротивления воздуха, действующей на блок, если модуль скорости движения блока у поверхности земли $v = 36 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

© MICHAEL GAUTIER

437. Парашютист массой $m_1 = 81$ кг спускается на парашюте с установившейся скоростью, модуль которой $v_1 = 5{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Каким будет модуль установившейся скорости, если на том же парашюте будет спускаться другой парашютист массой $m_2 = 64$ кг? Считать, что сила сопротивления воздуха пропорциональна квадрату скорости.

438. (э) Экспериментально докажите, что сила трения зависит от силы давления тела на данную поверхность.

Оборудование: маленькая дощечка с крючком, стол, динамометр, грузы.

439. (э) Имея динамометр и брусок с крючком, экспериментально определите соотношение между весом и силой трения скольжения тела по поверхности стола.

Оборудование: брусок с крючком, динамометр.

440. (э) Экспериментально докажите влияние сопротивления воздуха на скорость падения тел.

Оборудование: птичье перо, 5-копеечная монета, бумажный кружок (по размерам такой же, как и монета), мерная лента.

13

Закон всемирного тяготения

Физическая величина или физический закон	**Формула**	**Физические величины, входящие в формулу**
Закон всемирного тяготения	$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$	F — модуль силы гравитационного притяжения двух тел; G — гравитационная постоянная: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$; m_1 и m_2 — масса первого и второго тел соответственно;

© MICHAEL GAUTIER

Физическая величина или физический закон	**Формула**	**Физические величины, входящие в формулу**
		r — расстояние между центрами тяжести тел
Модуль ускорения свободного падения	$g = G\dfrac{M}{(R+h)^2}$	g — модуль ускорения свободного падения; G — гравитационная постоянная; M — масса планеты; R — радиус планеты; h — расстояние от поверхности планеты
Первая космическая скорость	$v = \sqrt{\dfrac{GM}{R+h}}$ или $v = \sqrt{g(R+h)}$	g — модуль ускорения свободного падения; v — модуль первой космической скорости; G — гравитационная постоянная; M — масса планеты; R — радиус планеты; h — расстояние от поверхности планеты

441. Почему тела, находящиеся в комнате, несмотря на их взаимное притяжение, не движутся друг к другу?

442. Определите модуль силы, с которой притягиваются друг к другу два однородных шара массой $m = 10$ кг каждый, если расстояние между их центрами $r = 0{,}80$ м.

443. Две стальные дроби равной массы находятся на расстоянии $r = 10$ см друг от друга и притягиваются с силой, модуль которой $F = 6{,}67 \cdot 10^{-15}$ Н. Какая масса каждой дроби?

444. Модуль силы притяжения искусственного спутника к Земле $F = 6{,}5$ кН. Определите расстояние между спутником и центром Земли, если масса спутника $m_1 = 800$ кг, масса Земли $m_2 = 6 \cdot 10^{24}$ кг.

© MICHAEL GAUTIER

445. Во сколько раз уменьшилась сила тяготения между двумя одинаковыми однородными шарами, если вначале они касались друг друга, а затем один из них удалили на расстояние, равное диаметру шара?

446. Два однородных шара, радиусы которых $R_1 = 20$ см и $R_2 = 30$ см, соприкасаются друг с другом. Во сколько раз уменьшится сила тяготения между шарами, если один из них отодвинуть на расстояние $l = 100$ см?

447. Определите модули сил, с которыми действуют друг на друга вследствие тяготения два соприкасающихся однородных свинцовых шара диаметром $d = 10$ см каждый.

448. На каком расстоянии должны находиться два одинаковых однородных стальных шара, чтобы они притягивались друг к другу с такими же силами, как два однородных алюминиевых шара таких же размеров, расположенных на расстоянии $r_1 = 9{,}0$ м?

449. Два одинаковых однородных шара, соприкасаясь, притягиваются друг к другу с силой тяготения, модуль которой равен F_0. Определите модуль силы взаимодействия между двумя однородными соприкасающимися шарами из того же материала, масса каждого из которых в $n = 8$ раз больше.

450. Расстояние между планетой Юпитер и Солнцем в $k = 5{,}2$ раза больше расстояния между Землей и Солнцем, а масса Юпитера в $n = 318$ раз больше массы Земли. Во сколько раз модуль силы притяжения между Солнцем и Юпитером больше, чем между Солнцем и Землей?

451. Расстояние между центрами Земли и Луны равно $60R_З$ ($R_З$ — радиус Земли). Масса Земли в $k = 81$ раз больше массы Луны. Космический корабль движется с Земли на Луну. На каком расстоянии от центра Луны модули сил притяжения корабля к Земле и к Луне будут равными?

452. На сколько процентов уменьшится сила притяжения ракеты к Земле, если ракета поднимется на высоту $h = 1{,}6 \cdot 10^6$ м над поверхностью Земли, радиус которой $R = 6{,}4 \cdot 10^6$ м?

453. Два шара, массы которых $m_1 = 10$ кг и $m_2 = 90$ кг, расположены на расстоянии $r = 10$ м друг от друга. На каком расстоянии от первого шара надо поместить третий шар, чтобы результирующая сил притяжения его к первым двум шарам была равна нулю?

© MICHAEL GAUTIER

454. Три одинаковых шарика находятся на одной прямой на равных расстояниях друг от друга. Модуль силы гравитационного взаимодействия двух соседних шариков равен F. Определите модуль результирующей гравитационной силы, действующей на крайний шарик.

455. Три одинаковых шара массой $m = 10$ кг каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника, сторона которого $r = 2{,}0$ м. Определите модуль гравитационной силы, действующей на один из шаров со стороны двух других.

456. Постройте график зависимости модуля ускорения свободного падения от высоты тела над поверхностью Земли. Определите модуль ускорения тела на высоте $h_1 = \frac{1}{4}R$ и $h_2 = R$ над Землей. R — радиус Земли. Принять модуль ускорения свободного падения на поверхности Земли $g = 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

457. Радиус планеты Марс $R_\text{М} = 0{,}53R_\text{З}$, масса — $M_\text{М} = 0{,}11M_\text{З}$. Зная модуль ускорения свободного падения на Земле $g_\text{З} = 9{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, определите модуль ускорения свободного падения на Марсе.

458. Радиус Солнца в $k = 110$ раз больше радиуса Земли, средняя плотность Солнца в $n = 4$ раза меньше средней плотности Земли. Определите модуль ускорения свободного падения у поверхности Солнца, если у поверхности Земли он равен g.

459. Тело, находясь на полюсе некоторой шарообразной планеты, действует на опору с силой, модуль которой в n раз больший, чем на экваторе этой же планеты. Определите период обращения планеты вокруг собственной оси, считая среднюю плотность вещества планеты равной $\langle\rho\rangle$.

460. Определите среднюю плотность вещества планеты, угловая скорость вращения которой вокруг своей оси $\omega = 2{,}9 \cdot 10^{-4}\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Известно, что тело, находясь на экваторе, действует на опору с силой, на 10 % меньшей, чем находясь на полюсе этой планеты.

© MICHAEL GAUTIER

461. Две планеты вращаются вокруг звезды по круговым орбитам. Отношение радиусов орбит $\frac{R_1}{R_2} = 4$. Определите отношение: а) модулей линейных скоростей движения планет; б) периодов обращения планет.

462. Определите модуль первой космической скорости для Луны, если радиус Луны в $k = 3{,}7$ раза меньше радиуса Земли, а модуль ускорения свободного падения у поверхности Луны в $n = 6{,}0$ раза меньше модуля ускорения свободного падения у поверхности Земли. Модуль первой космической скорости для Земли $v = 7{,}9\,\frac{\text{км}}{\text{с}}$.

463. Определите модуль первой космической скорости для планеты радиусом $R = 2500$ км, средняя плотность которой $\langle\rho\rangle = 4{,}5\,\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

464. Масса некоторой планеты в $n = 4{,}5$ раза больше массы Земли, а ее радиус — в $k = 2{,}0$ раза больше радиуса Земли. Определите модуль первой космической скорости для планеты, если радиус Земли $R_\text{З} = 6{,}4 \cdot 10^6$ м. Принять модуль ускорения свободного падения на поверхности Земли $g = 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

465. Искусственный спутник выведен на круговую орбиту на высоте h над поверхностью Земли. Определите модуль скорости движения спутника по орбите. Масса Земли M, радиус Земли R.

466. Если период обращения искусственного спутника Земли увеличится в $k = 8$ раз, то во сколько раз увеличится радиус круговой орбиты спутника?

467. Период обращения спутника вокруг Юпитера по круговой орбите радиусом $R = 1{,}1 \cdot 10^6$ км составляет $T = 200$ ч. Определите модуль первой космической скорости для Юпитера, если его радиус $R_\text{Ю} = 7{,}0 \cdot 10^4$ км.

468. На некоторой планете запущен геостационарный спутник, все время находящийся над одной и той же точкой планеты. Во сколько раз высота спутника над поверхностью планеты больше ее радиуса, если известно, что другой спутник, вращающийся вокруг планеты вблизи ее поверхности, имеет период обращения в $k = 8$ раз меньший, чем период вращения планеты вокруг своей оси?

© MICHAEL GAUTIER

14

Свободное падение тел

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Скорость свободно падающего тела (по вертикали)	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$	$\vec{v}$ — скорость движения тела в момент времени t; $\vec{v}_0$ — скорость движения тела в начальный момент времени ($t = 0$); $\vec{g}$ — ускорение свободного падения; t — время свободного падения
Перемещение свободно падающего тела	$\Delta\vec{r} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g}t^2}{2}$	$\Delta\vec{r}$ — перемещение тела; $\vec{v}_0$ — скорость движения тела в начальный момент времени ($t = 0$); $\vec{g}$ — ускорение свободного падения; t — время свободного падения
Время падения тела, брошенного горизонтально с высоты h	$t_{\text{пад}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$	$t_{\text{пад}}$ — время падения; h — высота, с которой свободно падает тело; g — модуль ускорения свободного падения
Дальность полета тела, брошенного горизонтально с высоты h	$l = v_0 t$ или $l = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$	l — горизонтальная дальность полета; v_0 — модуль скорости движения тела в начальный момент времени ($t = 0$);

© MICHAEL GAUTIER

Физическая величина	**Формула**	**Физические величины, входящие в формулу**
		g — модуль ускорения свободного падения; t — время свободного падения; h — высота, с которой свободно падает тело
Модуль скорости движения тела, брошенного горизонтально с некоторой высоты	$v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$	v — модуль скорости движения тела в момент времени t; v_0 — модуль скорости движения тела в начальный момент времени ($t = 0$); g — модуль ускорения свободного падения; t — время свободного падения

469. С балкона четвертого этажа ($H = 12$ м) без начальной скорости сестра бросила брату связку ключей. На какой высоте окажутся ключи через время $t = 1$ с после начала падения? Сопротивлением воздуха здесь и в последующих задачах пренебречь. Ускорение свободного падения принять $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

470. Определите модуль скорости, с которой надо бросить мяч вертикально вверх с поверхности земли, чтобы он вернулся в исходную точку через время $t = 4{,}0$ с.

471. Мяч брошен вертикально вверх с поверхности земли со скоростью, модуль которой $v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. На какую максимальную высоту он поднимется?

472. Определите модуль начальной скорости стрелы, выпущенной из лука вертикально вверх, если она вернулась обратно через время $t = 6{,}0$ с. Чему равна максимальная высота подъема стрелы? Каким был модуль скорости движения стрелы на высоте, составляющей $\frac{3}{4}$ от максимальной высоты подъема?

© MICHAEL GAUTIER

473. В некоторый момент времени модуль скорости свободного падения тела $v_1 = 6{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Каким будет модуль скорости движения тела через время $t = 2{,}0$ с?

474. Вертикально вниз брошен камень со скоростью, модуль которой $v_0 = 2\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Во сколько раз увеличится модуль скорости движения камня через время $t = 1$ с после броска?

475. Мяч брошен с некоторой высоты вертикально вниз со скоростью, модуль которой $v_0 = 4{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите среднюю скорость пути за первые две секунды движения мяча.

476. Определите модуль скорости, с которой тело брошено вертикально вверх, если через время $t = 0{,}80$ с после броска его скорость при подъеме вверх уменьшилась вдвое.

477. Камень, брошенный вертикально вверх, упал обратно через время $t = 2$ с. Определите путь и модуль перемещения камня за время $t_1 = 1$ с и $t_2 = 2$ с. Какая средняя скорость пути за время t?

478. Тело брошено вертикально вверх с высоты $h_1 = 20$ м с начальной скоростью, модуль которой $v_0 = 5{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. На какой высоте окажется тело через время $t = 2{,}0$ с?

479. Камень брошен вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v_0 = 50\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Через какое время его скорость движения будет направлена вертикально вниз, а ее модуль $v = 30\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$?

480. Два тела брошены с поверхности земли вертикально вверх. Начальная скорость движения первого тела в $k = 4$ раза больше начальной скорости движения второго. Во сколько раз выше поднимется первое тело по сравнению со вторым?

481. Тело, брошенное вертикально вверх из точки, находящейся над поверхностью земли на высоте $h_1 = 8$ м, падает на поверхность земли через время $t = 2$ с после броска. Определите модуль начальной скорости движения тела.

© MICHAEL GAUTIER

482. Металлический шарик падает без начальной скорости с высоты $h = 20$ м на доску и отскакивает от нее. Модуль скорости движения шарика в момент касания доски равен v, а сразу же после отскока — $0{,}75v$. Через какое время после удара шарик второй раз упадет на доску?

483. Бейсбольный мяч брошен вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите путь, пройденный мячом за время $t = 2{,}0$ с от начала движения.

484. Тело брошено вертикально вверх. За первую секунду полета тело поднялось на высоту $h_1 = 15$ м. Какой путь прошло тело за следующие две секунды полета?

485. С вертолета, неподвижно висящего на высоте $h = 80$ м, сброшен груз. Какой путь пройдет груз в последнюю секунду падения?

486. Определите, на сколько путь, пройденный свободно падающим телом за десятую секунду, больше пути, пройденного телом за девятую секунду. Начальная скорость движения тела равна нулю.

487. Тело брошено вертикально вверх с поверхности земли. Во сколько раз скорость движения тела на высоте, составляющей $\frac{8}{9}$ максимальной высоты подъема, меньше начальной скорости?

488. Камень, брошенный вертикально вверх, дважды побывал на одной и той же высоте: спустя время $t_1 = 0{,}8$ с и $t_2 = 1{,}5$ с после начала движения. Чему равна эта высота?

489. Тело, брошенное вертикально вверх, дважды проходит через точку, находящуюся на высоте $h = 15$ м. Промежуток времени между этими моментами составляет $\Delta t = 2{,}0$ с. Определите модуль начальной скорости и полное время полета тела.

490. С какой высоты падала сосулька без начальной скорости, если путь, пройденный ею за последнюю секунду движения, в $n = 5{,}0$ раза больше пути, пройденного за первую секунду?

491. Капля, падающая вертикально, пролетает мимо окна высотой h за время t. Определите модули скорости ее движения в моменты пролета мимо верхнего и нижнего края окна.

© MICHAEL GAUTIER

492. С какой высоты упал камень на дно ущелья, если, начав падать без начальной скорости, он в последнюю секунду падения прошел путь $h_1 = 25$ м?

493. За последнюю секунду свободного падения тело прошло путь $h_1 = 45$ м. В течение какого времени и с какой высоты падало тело, если начальная скорость, модуль которой $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, направлена вертикально вниз?

494. Шарик, начальная скорость движения которого направлена вертикально вниз, падает с высоты $h = 3{,}0$ м. Разделите эту высоту на три части, на прохождение каждой из которых необходимо одно и то же время. Модуль начальной скорости движения шарика $v_0 = 2{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

495. С аэростата, опускающегося с постоянной скоростью, модуль которой $v = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, бросают вертикально вверх груз со скоростью, модуль которой $v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ относительно земли. Через какое время груз достигнет аэростата?

496. Кабина скоростного лифта опускается с ускорением, модуль которого $a = 2{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ относительно шахты. Из рук шахтера, находящегося в кабине, выпадает ключ. Определите время, за которое ключ упадет на пол кабины, если расстояние, которое он пролетит относительно кабины, $h = 1{,}4$ м.

497. Стоя на краю скалы высотой $h = 80$ м, мальчик отпустил без начальной скорости камень, а затем, спустя время $t_1 = 2{,}0$ с, бросил вертикально вниз второй камень. Определите модуль начальной скорости, которую сообщил мальчик второму камню, если оба камня упали на землю одновременно.

498. С крыши падают вниз одна за другой две капли. Через время $t_1 = 2{,}0$ с после начала падения второй капли расстояние между ними оказалось $h = 60$ м. На сколько раньше первая капля оторвалась от крыши?

499. Два камня находятся в состоянии покоя на одной вертикали на расстоянии $h = 20$ м друг от друга. В некоторый момент времени верхний камень бросают вертикально вниз со скоростью, модуль

© MICHAEL GAUTIER

которой $v_{01} = 8{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а нижний камень отпускают без начальной скорости. Через какое время камни окажутся на одной высоте?

500. С неподвижно зависшего над поверхностью земли вертолета сбросили без начальной скорости два груза, причем второй — на время $t_1 = 1{,}0$ с позже первого. Определите расстояние между грузами через время $t_2 = 4{,}0$ с после начала движения первого груза.

501. С высоты $H = 3{,}2$ м начинает падать без начальной скорости маленький шарик. Одновременно другой шарик брошен вверх с поверхности земли с начальной скоростью, в $k = 1{,}5$ раза меньшей, чем имел бы первый шарик при падении на поверхность земли. На какой высоте шарики встретятся?

502. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью, модуль которой $v_0 = 4{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Когда оно достигло высшей точки траектории, из той же точки, из которой было брошено первое тело, с той же начальной скоростью вертикально вверх брошено второе тело. На каком расстоянии от начальной точки тела встретятся?

503. Двигатели ракеты, запущенной вертикально вверх с поверхности земли, работали в течение времени $t_1 = 10$ с и сообщали ракете постоянное ускорение, модуль которого $a_1 = 30\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Какой максимальной высоты над поверхностью земли достигла ракета за время полета?

504. В течение времени $t_1 = 20$ с ракета поднималась с постоянным ускорением, модуль которого $a_1 = 0{,}8g$ (g — модуль ускорения свободного падения). Затем двигатели ракеты выключались. Через какое время после выключения двигателей ракета упадет на землю?

505. Тело, брошенное вертикально вверх, прошло последний метр подъема за время, в $k = 8{,}0$ раза большее, чем первый метр. Определите модуль начальной скорости движения тела.

506. При свободном падении без начальной скорости тело прошло равные пути за первые $\Delta t_1 = 1{,}0$ с и за последние $\Delta t_2 = 0{,}20$ с. С какой высоты упало тело?

507. Наблюдатель измерил, что за время $t_1 = 2{,}0$ с камень в свободном падении пролетел путь $h = 60$ м. Как долго падал камень из начального состояния покоя до момента начала наблюдения и какой путь прошел он при этом?

© MICHAEL GAUTIER

508. Стоя на краю скалы, мальчик бросил вниз два камня: один без начальной скорости, а другой с начальной скоростью $\vec{v}_0$. Чему равен модуль этой скорости, если второй камень достигает поверхности земли за время, в k раз меньшее первого? Во сколько раз отличаются модули конечной скорости движения камней? Высота скалы над землей h.

509. Дальность полета металлического шарика, брошенного в горизонтальном направлении со скоростью, модуль которой $v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, равна высоте бросания. С какой высоты брошен шарик?

510. Во сколько раз надо изменить начальную скорость тела, брошенного горизонтально, чтобы при вчетверо большей высоте бросания получить прежнюю дальность полета?

511. Из окна, расположенного на высоте $h = 5$ м, горизонтально был брошен мяч, который упал на расстоянии $l = 8$ м от дома. Определите модуль скорости, с которой брошен мяч.

512. Камень, брошенный горизонтально с некоторой высоты со скоростью, модуль которой $v_0 = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, упал на землю со скоростью, модуль которой $v = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Сколько времени длился полет камня?

513. Тело бросили горизонтально со скоростью, модуль которой $v_0 = 40 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, с высоты $h = 100$ м. Определите модуль скорости его движения через время $t_1 = 3{,}0$ с и в момент падения на землю.

514. С вертолета, летящего горизонтально на высоте $h_1 = 500$ м со скоростью, модуль которой $v_0 = 180 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, выпал груз. На какой высоте скорость груза будет направлена под углом $\alpha = 60°$ к горизонту?

515. Маленький шарик катится со скоростью, модуль которой $v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, по горизонтальной плоскости, приближаясь к щели. Щель образована двумя отвесными параллельными стенками, находящимися на расстоянии $d = 5{,}0$ см друг от друга. Скорость движения шарика $\vec{v}_0$ перпендикулярна стенкам. Глубина щели $H = 20$ см. Сколько раз шарик ударится о стенки, прежде чем упадет на дно? Удары о стенки считать абсолютно упругими.

© MICHAEL GAUTIER

516. В вертикально установленную мишень с расстояния $l = 120$ м из винтовки произведено два выстрела в горизонтальном направлении. Модуль начальной скорости движения первой пули $v_{01} = 300 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, второй — $v_{02} = 400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите расстояние между пробоинами в мишени.

517. Спортивное ядро бросают горизонтально с некоторой высоты, и оно свободно падает на поверхность земли. На сколько процентов увеличится дальность полета ядра, если начальную высоту бросания уменьшить в $k = 4$ раза, а начальную скорость увеличить в $n = 3$ раза?

518. Спортивное ядро брошено в горизонтальном направлении. Определите модуль начальной скорости, если через время $t = 3{,}0$ с свободного падения скорость движения ядра оказалась направленной под углом $\alpha = 45°$ к горизонту.

519. Мяч брошен с поверхности земли под углом $\alpha = 30°$ к горизонту с начальной скоростью, модуль которой $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите: а) сколько времени длился полет мяча; б) максимальную высоту подъема мяча.

520. Снаряд, вылетевший из орудия под углом к горизонту, находился в полете $t = 20$ с. Какой наибольшей высоты достиг снаряд?

521. Под каким углом к горизонту нужно бросить тело, чтобы модуль его скорости в наивысшей точке подъема был вдвое меньше модуля начальной скорости?

522. Камень брошен со скоростью, модуль которой $v_0 = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, под некоторым углом к горизонту. Определите максимальную высоту подъема камня, если известно, что во время полета модуль максимальной скорости движения был втрое больше модуля минимальной.

523. Камень брошен под углом α к горизонту ($\sin \alpha = 0{,}8$). Определите отношение дальности полета камня к максимальной высоте его подъема.

© MICHAEL GAUTIER

524. Мяч для гольфа брошен под углом к горизонту. При этом его максимальная высота подъема в $k = 4$ раза меньше дальности полета. Под каким углом был брошен мяч?

525. Одно из тел брошено под углом α, а другое — под углом $\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$ к горизонту. Модули начальных скоростей одинаковы. Определите отношение наибольших высот подъема тел и отношение дальностей полета.

526. Два тела брошены под равными углами к горизонту с начальными скоростями, модули которых отличаются в три раза. Во сколько раз отличаются дальности полета тел?

527. Из одной и той же точки с земли брошены два камня. Первый упал на землю на расстоянии l, второй — на расстоянии $3l$ от точки бросания. Под каким углом к горизонту был брошен первый камень, если второй брошен под углом $\alpha_2 = 30°$? Максимальные высоты подъема камней одинаковы.

528. Два тела брошены под углами α и 2α ($2\alpha < 90°$) к горизонту. Определите отношение модулей сообщенных им начальных скоростей, если дальности полета тел одинаковы.

529. Диск, брошенный под углом $\alpha = 45°$ к горизонту, достиг наибольшей высоты $h_{max} = 15$ м. Определите дальность полета диска.

530. Шарик, брошенный под углом $\alpha = 30°$ к горизонту, оказался дважды на высоте h спустя время $t_1 = 1{,}0$ с и $t_2 = 2{,}0$ с после начала полета. Определите модуль начальной скорости и высоту h.

531. Из шланга бьет струя воды со скоростью, модуль которой $v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Определите массу воды, находящейся в воздухе, если площадь отверстия шланга $S = 2{,}0$ см^2.

532. Из точки, расположенной на высоте $h_0 = 15$ м, бросают камень со скоростью, модуль которой $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Через какое время камень упадет на землю?

533. (о) Оцените дальность полета диска, если спортсмен бросает его: а) с разбега; б) из состояния покоя.

© MICHAEL GAUTIER

534. (э) Экспериментально определите начальную скорость тела, брошенного горизонтально.

Оборудование: ластик, стол, мерная лента.

15
Динамика движения материальной точки по окружности

535. Мальчик вращает в вертикальной плоскости камень массой $m = 80$ г, привязанный к невесомой нерастяжимой нити. Определите модули равнодействующих сил, которые действуют на камень, в нижней и верхней точках траектории. Модули центростремительных ускорений камня в этих точках соответственно равны $a_1 = 70\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ и $a_2 = 30\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Изобразите на рисунке силы, действующие на камень в нижней и верхней точках траектории. Определите модули сил натяжения нити в этих точках.

536. Карусель представляет собой горизонтальный диск, вращающийся вокруг вертикальной оси, проходящей через середину диска. На карусели лежит куб массой $m = 4{,}0$ кг на расстоянии $r = 1{,}0$ м от оси вращения. Определите модуль силы трения покоя, которая действует на куб, если модуль линейной скорости движения куба относительно поверхности земли постоянен и составляет $v = 7{,}2\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

537. На горизонтальном диске на расстоянии $r = 10$ см от его оси вращения лежит шайба. Коэффициент трения между шайбой и диском $\mu = 0{,}25$. Определите максимальную угловую скорость вращения диска, при которой шайба еще не соскользнет с диска.

538. Небольшая муфта массой $m = 0{,}5$ кг может перемещаться без трения по горизонтальному стержню, прикрепленному к вертикальной оси вращения (рис. 94). Определите жесткость пружины, связывающей муфту с осью, если при равномерном вращении

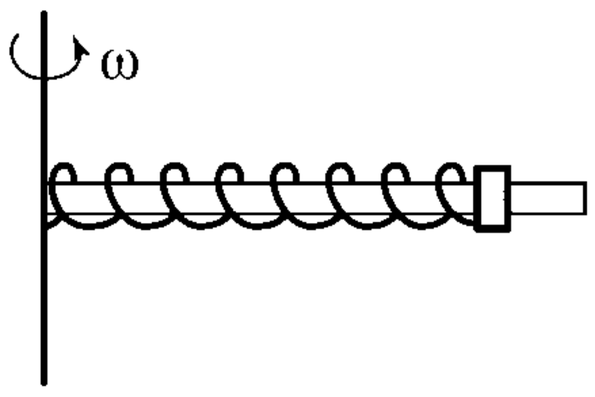


Рис. 94

© MICHAEL GAUTIER

стержня с угловой скоростью $\omega = 3\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ длина пружины увеличивается в $n = 2$ раза.

539. На горизонтальном диске, совершающем N оборотов за время t, лежит брусок массой m, привязанный нерастяжимой невесомой горизонтальной нитью к оси вращения диска. Определите модуль натяжения нити, если расстояние от оси вращения диска до центра бруска равно r. Трением пренебречь. Диск вращается равномерно, брусок по нему не скользит.

540. Гладкий горизонтальный диск вращается с постоянной угловой скоростью $\omega = 2{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ вокруг вертикальной оси. Два однородных бруска массами $m_1 = 0{,}10$ кг и $m_2 = 0{,}30$ кг, удерживаемые двумя невесомыми нерастяжимыми нитями, вращаются вместе с диском (рис. 95). Расстояния от центров брусков до оси вращения $r_1 = 10$ см и $r_2 = 30$ см. Определите модули сил натяжения нитей.

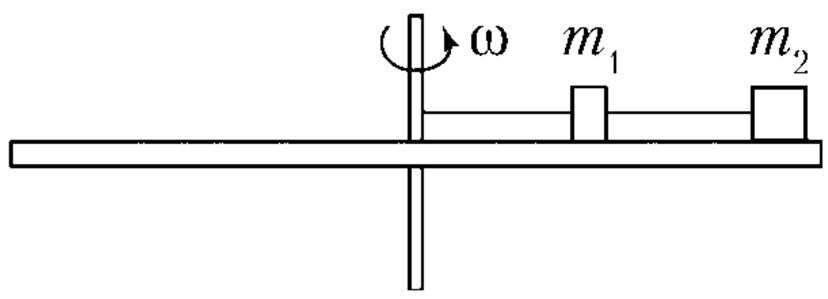


Рис. 95

541. Невесомый стержень равномерно вращается в горизонтальной плоскости с угловой скоростью $\omega = 30\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Ось вращения находится между грузами, которые закреплены на расстояниях $r_1 = 40$ см и $r_2 = 30$ см от оси вращения. Грузы имеют массы $m_1 = 200$ г и $m_2 = 100$ г. Определите модуль результирующей горизонтальных сил, с которыми грузы действуют на стержень.

542. Два шарика массами $m_1 = 50$ г и $m_2 = 150$ г, связанные легкой нерастяжимой нитью, могут скользить по гладкому горизонтальному стержню, укрепленному на горизонтальном диске (рис. 96). Расстояние между центрами шариков $l = 28$ см. При равномерном вращении диска вокруг вертикальной оси, проходящей через центр диска, шарики смещаются по стержню и устанавливаются на определенном расстоянии от оси вращения. Определите расстояние от первого шарика до оси вращения диска.

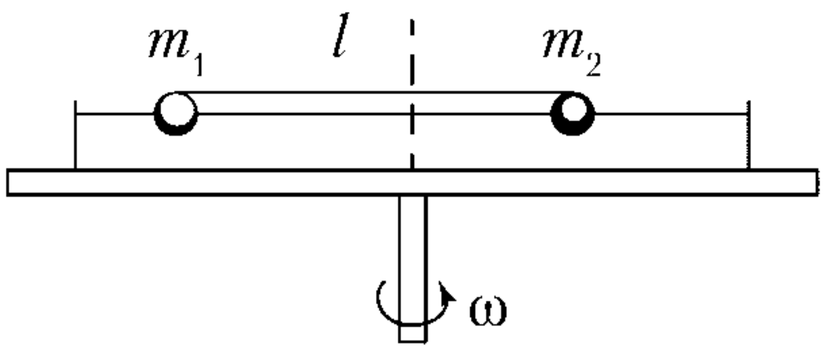


Рис. 96

© MICHAEL GAUTIER

543. Маленький шарик, подвешенный на нити длиной l, движется в горизонтальной плоскости по окружности со скоростью, модуль которой постоянен. При этом нить образует угол α с вертикалью (рис. 97). Такая система называется коническим маятником. Определите период обращения шарика.

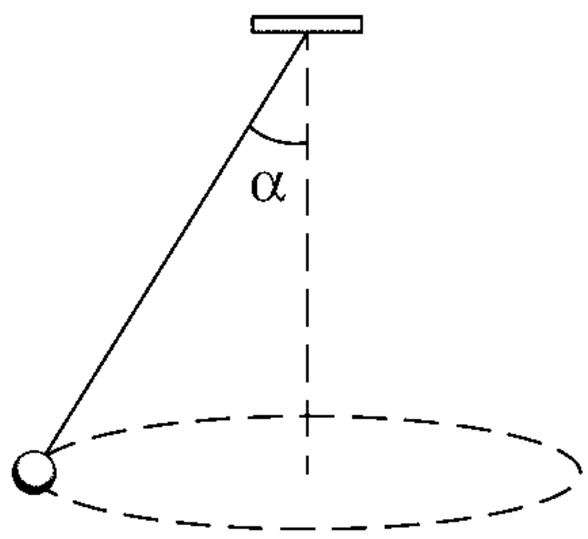


Рис. 97

544. Шарик массой $m = 1{,}0$ кг привязан к нити длиной $l = 2{,}0$ м (рис. 98). Шарик на нити отводят от вертикали и отпускают. В момент времени, когда нить образует угол $\alpha = 60°$ с вертикалью, модуль скорости движения шарика $v = 1{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль силы натяжения нити в этот момент.

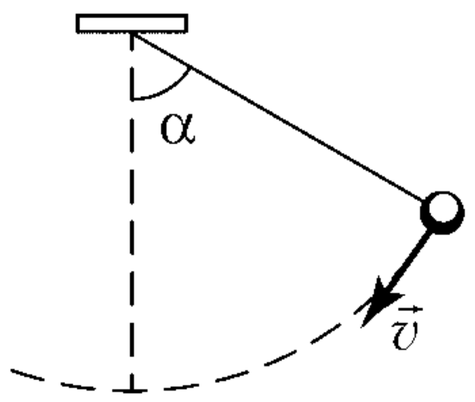


Рис. 98

545. Груз на длинной нерастяжимой нити может совершать колебания в вертикальной плоскости, максимально отклоняясь на угол α от вертикали (рис. 98). Этот же груз может равномерно вращаться по окружности, описывая конус (рис. 97). Сравните модули сил натяжения нитей при отклонении их на угол α от вертикали.

546. К краю диска на легкой нерастяжимой нити длиной l привязан груз. При равномерном вращении диска нить образует угол α с вертикалью (рис. 99). Расстояние от точки крепления нити до оси вращения диска равно R. Определите угловую скорость вращения диска.

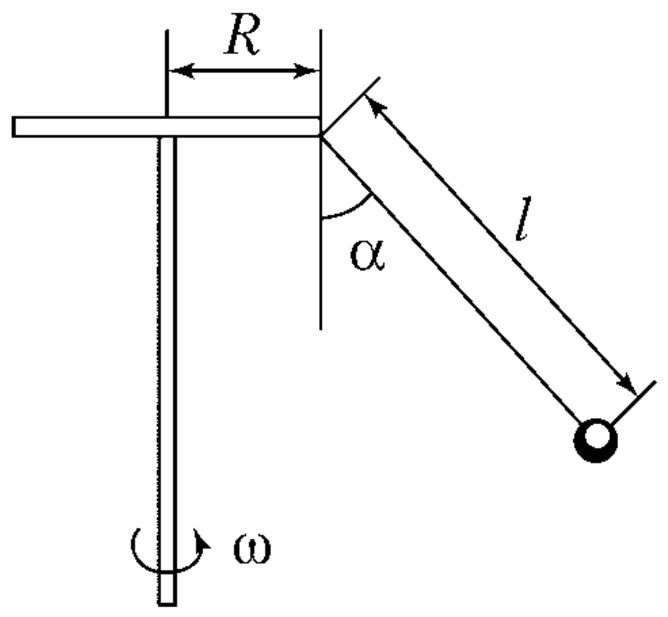


Рис. 99

547. Чаша в форме полусферы равномерно вращается с угловой скоростью $\omega = 5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ вокруг вертикальной оси. Вместе с чашей вращается шарик, лежащий на ее гладкой внутренней поверхности (рис. 100). Модуль силы реакции чаши, действующей на шарик, в 2 раза превышает модуль силы тяжести шарика. Чему равны радиус чаши

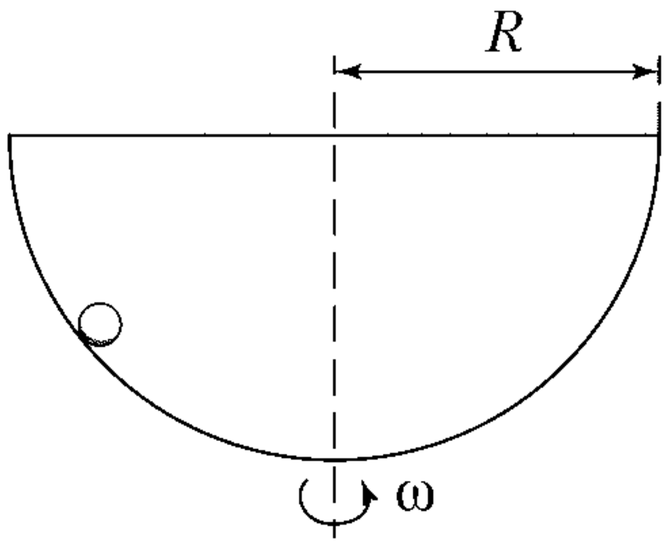


Рис. 100

© MICHAEL GAUTIER

и расстояние от центра полусферы до горизонтальной плоскости, в которой вращается шарик?

548. Груз массой $m = 100$ г, привязанный к резиновому жгуту, равномерно вращается с угловой скоростью $\omega = 10 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ по окружности в горизонтальной плоскости так, что жгут составляет угол $\alpha = 60°$ с вертикалью. Определите длину недеформированного жгута, если его жесткость $k = 40 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

549. Сосуд, имеющий форму расширяющегося кверху усеченного конуса с диаметром дна d и углом наклона α стенок к горизонту, вращается вокруг вертикальной оси OO' (рис. 101). При какой минимальной частоте вращения сосуда маленький шарик, лежащий на его дне, начнет подниматься вверх по стенке? Трение не учитывать.

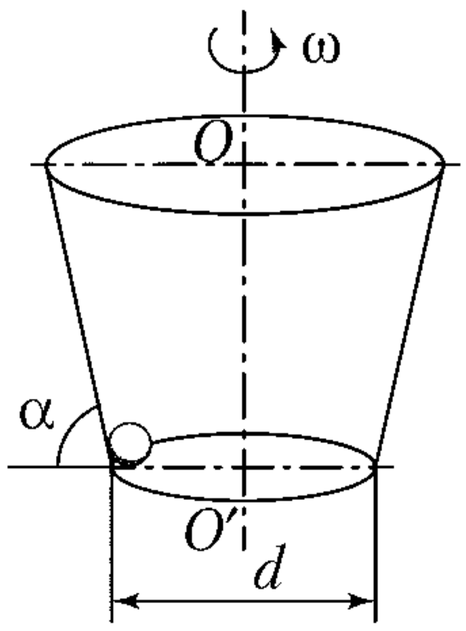


Рис. 101

550. Конус с углом при вершине 2α равномерно вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью ω. В конусе находится маленький шарик массой m, подвешенный на невесомой нити на внутренней поверхности конуса. Радиус окружности, по которой вращается шарик, равен R (рис. 102). Определите модуль силы натяжения нити. Трение не учитывать.

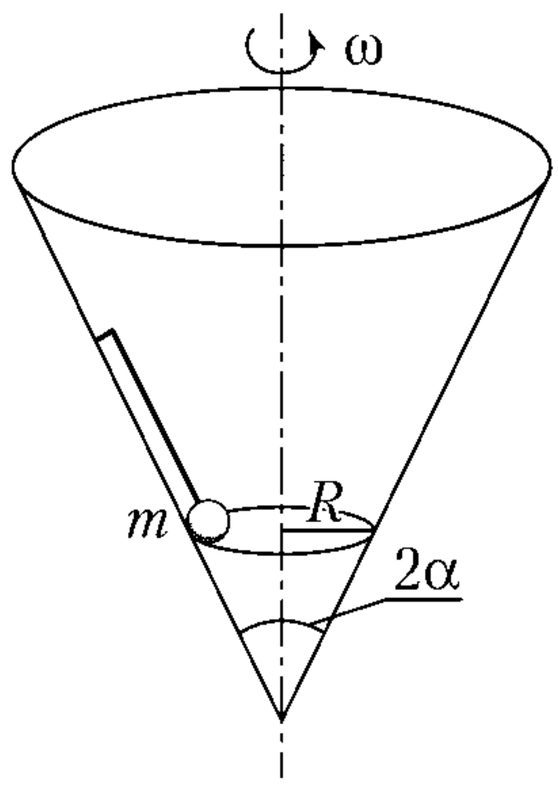


Рис. 102

551. Определите модуль максимальной скорости, с которой автомобиль может проходить без заноса поворот горизонтальной дороги, радиус закругления которого $R = 400$ м, если коэффициент трения между шинами автомобиля и дорогой $\mu = 0{,}10$.

552. Конькобежец массой $m = 80$ кг может совершить по горизонтальной поверхности льда без заноса поворот радиусом $R = 80$ м на предельной скорости, модуль которой $v = 9{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль максимальной силы трения, обеспечивающей поворот конькобежца. Каким будет угол наклона конькобежца к горизонту при совершении такого поворота?

© MICHAEL GAUTIER

553. Определите модуль максимальной скорости, с которой может ехать по горизонтальной дороге мотоциклист, описывая дугу радиусом $R = 30$ м, если коэффициент трения между колесами и дорогой $\mu = 0{,}75$. На какой угол от вертикали он должен при этом отклониться? Определите модуль силы взаимодействия мотоциклиста массой $m = 64$ кг с сиденьем мотоцикла.

554. Поворот велотрека радиусом $R = 50$ м профилирован так, что полотно велотрека наклонено в сторону поворота под углом α, тангенс которого равен $0{,}45$ ($\operatorname{tg}\alpha = 0{,}45$). Определите модуль максимальной скорости прохождения велосипедистами такого поворота. Трение не учитывать.

555. Определите модуль максимально допустимой скорости движения мотоциклиста на повороте наклонного трека с углом наклона $\alpha = 45°$ к горизонту, если радиус закругления $R = 30$ м, а коэффициент трения $\mu = 0{,}50$.

556. Самолет летит по окружности с постоянной скоростью, модуль которой $v = 540 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. При этом он отклоняется от горизонтального положения на угол α ($\operatorname{tg}\alpha = 0{,}30$). Определите радиус окружности.

557. Определите модуль силы, направленной горизонтально, с которой вагон трамвая массой $m = 24$ т действует на рельсы, если он движется по горизонтальному закруглению дороги радиусом $R = 100$ м со скоростью, модуль которой $v = 18 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

558. Для устранения бокового давления колес поезда на рельсы при движении по закругленным участкам пути наружный рельс укладывают несколько выше внутреннего. Определите, насколько внешний рельс выше внутреннего, если радиус закругления $R = 0{,}75$ км, модуль скорости движения поезда $v = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, ширина колеи $l = 1{,}5$ м.

559. Определите модуль минимальной скорости, с которой должен ехать мотоциклист по внутренней поверхности вертикальной стены, представляющей собой боковую поверхность цилиндра радиусом $R = 10$ м, чтобы при движении оставаться в одной гори-

© MICHAEL GAUTIER

зонтальной плоскости. Коэффициент трения покоя между шинами мотоцикла и поверхностью стены $\mu = 0{,}25$.

560. Мальчик массой $m = 50$ кг катается на качелях, длина подвеса которых $l = 4{,}0$ м. Определите модуль веса мальчика в момент прохождения качелями положения равновесия, если модуль скорости их движения в этот момент $v = 6{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

561. Определите модуль скорости, с которой движется автомобиль массой $m = 2{,}0$ т по выпуклому мосту с радиусом кривизны $R = 100$ м, если модуль веса, с которым автомобиль действует на мост в его верхней точке, $P = 7{,}5$ кН.

562. Лыжник массой $m = 80$ кг движется по вогнутому участку траектории радиусом кривизны $R = 20$ м. Определите модуль силы давления лыж на снег в нижней точке траектории, если модуль скорости движения лыжника в этой точке $v = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

563. Определите модуль скорости (считая его постоянным), с которой автомобиль движется по выпуклому мосту. Радиус кривизны моста $R = 147$ м. Модуль силы давления автомобиля на мост в его верхней точке в $n = 3{,}5$ раза больше, чем в точке, направление на которую из центра кривизны моста составляет угол $\alpha = 60°$ с вертикалью.

564. В вагоне поезда, идущего по закруглению радиусом R со скоростью, модуль которой не изменяется, учащиеся решили взвесить груз с помощью динамометра. Масса груза m. Определите показание динамометра, если модуль скорости движения поезда v.

565. В кабине, укрепленной на конце штанги, находится человек. Штанга с кабиной равномерно вращается в вертикальной плоскости с угловой скоростью $\omega = 1{,}0 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Каким должен быть радиус вращения кабины с человеком, чтобы человек в верхней точке траектории оказался в состоянии невесомости?

566. Самолет делает «мертвую петлю» (движется по окружности в вертикальной плоскости). Определите модуль силы давления летчика на сиденье в нижней точке траектории, если масса летчика $m = 70$ кг, модуль скорости движения самолета $v = 100 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, радиус окружности $R = 200$ м.

© MICHAEL GAUTIER

567. Круглая платформа вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью ω. Вместе с платформой вращается шарик массой m, прикрепленный к оси платформы легкой нитью длиной l. Угол наклона нити к горизонту равен α (рис. 103). Определите модули силы натяжения нити и силы давления шарика на платформу. Трение отсутствует.

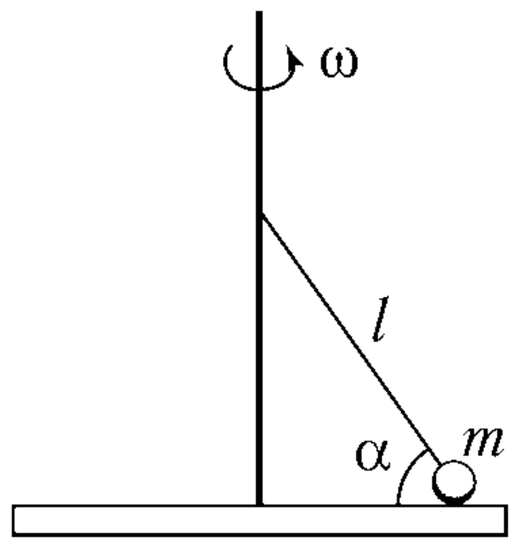


Рис. 103

568. Для тренировок летчиков-космонавтов используется центрифуга, схема которой представлена на рисунке 104. Определите модуль и направление веса космонавта массой $m = 80$ кг, если расстояние от космонавта до оси вращения $R = 4{,}0$ м, а частота равномерного вращения $\nu = 30\ \frac{\text{об}}{\text{мин}}$.

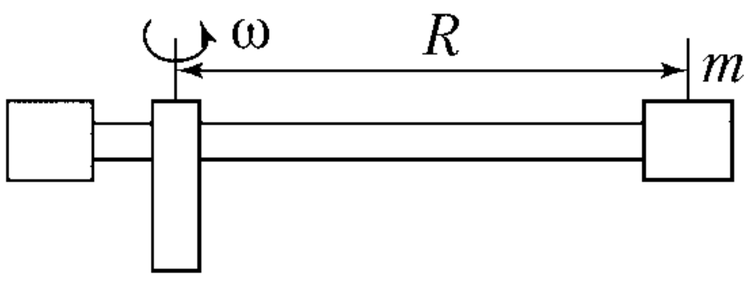


Рис. 104

569. На невесомый стержень насажен груз (рис. 105) массой $m = 0{,}90$ кг. Стержень вращается с постоянной угловой скоростью в вертикальной плоскости. Модуль линейной скорости движения груза $v = 3{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Длина стержня $l = 1{,}0$ м. Определите модуль и направление силы, с которой груз действует на стержень в тот момент, когда стержень занимает горизонтальное положение.

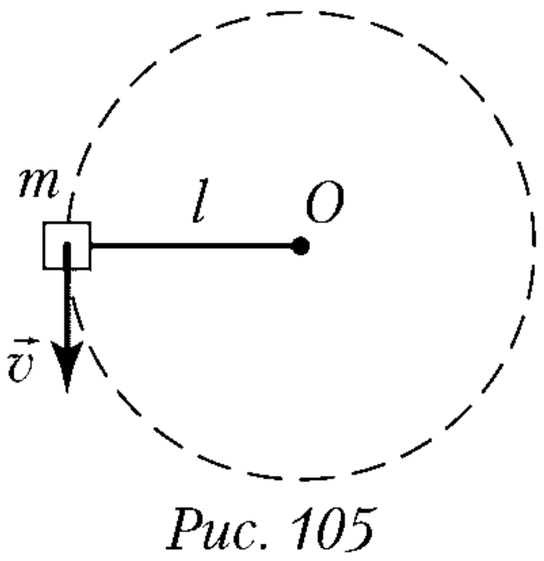


Рис. 105

570. Невесомый стержень ABC (рис. 106) согнут под углом $\alpha = 30°$. На конце участка стержня BC длиной $l = 80$ см закреплен небольшой груз массой $m = 1{,}0$ кг. Система равномерно вращается вокруг вертикального участка стержня AB так, что модуль скорости движения груза $v = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль и направление силы, с которой груз действует на стержень.

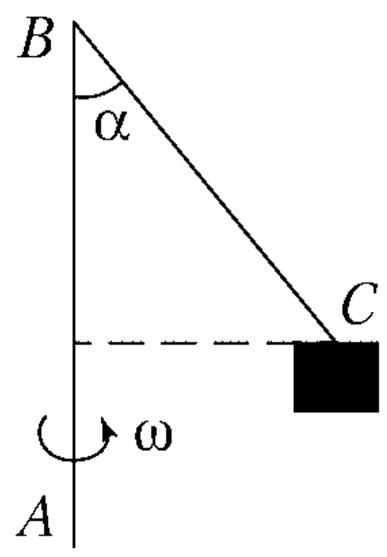


Рис. 106

571. Угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси $\omega = 7{,}0 \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Радиус Земли $R = 6{,}4 \cdot 10^{6}$ м. Определите массу

© MICHAEL GAUTIER

тела, модули веса которого на полюсе и экваторе Земли отличаются на $\Delta P = 313{,}6$ мН.

572. (о) Оцените силу, с которой гимнаст действует на перекладину в нижнем положении, совершая полный оборот.

16

Динамика движения связанных тел

573. Два тела, массы которых $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 6$ кг, связанные легкой нерастяжимой нитью, движутся по гладкой горизонтальной поверхности под действием горизонтальной силы. Модуль этой силы, приложенной ко второму телу, $F = 8$ Н. Определите модули ускорения тел и силу натяжения нити.

574. Два груза массами $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 1$ кг связаны невесомой нерастяжимой нитью и находятся на гладком столе (рис. 107). К первому грузу приложена сила, модуль которой $F_1 = 5$ Н, ко второму — противоположно направленная сила, модуль которой $F_2 = 2$ Н. Определите модуль силы натяжения нити, связывающей грузы.

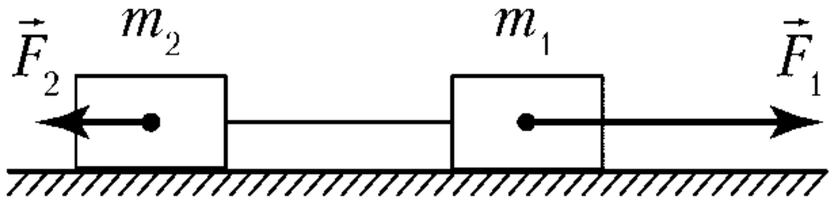


Рис. 107

575. Два тела, лежащие на столе, соединены невесомой нерастяжимой нитью. К легкому телу приложена горизонтальная сила, в результате чего тела движутся по столу с ускорением. При этом модуль силы натяжения нити составляет $\frac{4}{5}$ модуля приложенной силы. Во сколько раз отличаются массы тел? Коэффициенты трения тел о стол одинаковы.

576. Два тела массами m_1 и m_2, соединенные невесомой нерастяжимой нитью, лежат на горизонтальной поверхности. К первому телу прикладывают силу $\vec{F}$, направленную вверх под углом α к горизонту. Определите модуль силы натяжения нити, если коэффициент трения тел о поверхность μ.

© MICHAEL GAUTIER

577. Поезд, состоящий из $n = 11$ одинаковых вагонов, движется с ускорением, модуль которого $a = 0{,}20\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите модуль силы натяжения сцепки между шестым, считая от начала поезда, и седьмым вагонами, если масса каждого вагона $m = 20$ т, коэффициент сопротивления $\mu = 0{,}10$.

578. Через легкий неподвижный блок перекинута невесомая нерастяжимая нить, к концам которой прикреплены грузы массами $m_1 = 2{,}0$ кг и $m_2 = 8{,}0$ кг. Определите модули ускорения движения грузов и силы натяжения нити.

579. На концах невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через легкий неподвижный блок, подвешены кубики массами $m = 0{,}19$ кг каждый. Чему равна масса дополнительного груза, который надо положить на один из кубиков, чтобы каждый из них прошел за время $t = 2{,}0$ с путь $s = 1{,}0$ м? Определите модуль силы давления груза на кубик в процессе движения.

580. Две гири массами $m_1 = 7$ кг и $m_2 = 11$ кг висят на концах невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через легкий блок, вращающийся без трения вокруг неподвижной оси. Гири вначале находятся на одной высоте. Через какое время после начала движения гиря массой m_1 окажется на $h = 20$ см выше гири массой m_2?

581. Через легкий неподвижный блок перекинута невесомая нерастяжимая веревка, к концу которой прикреплен груз массой $m = 9$ кг. Для поднятия груза на высоту $H_1 = 4$ м за время $t = 6$ с веревку тянут с постоянной силой $\vec{F}$ (рис. 108). На сколько потребуется увеличить модуль силы $\vec{F}$, чтобы поднять груз с той же опоры за то же время на высоту $H_2 = 6$ м?

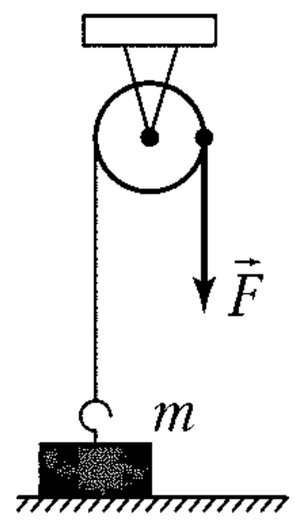


Рис. 108

582. Груз массой $m_1 = 0{,}2$ кг поднимают, один раз действуя силой $\vec{F}$ ($F = 4$ Н), а другой — с помощью второго груза (рис. 109, *а*, *б*) массой $m_2 = 0{,}4$ кг. Определите отношение модулей ускорения движения груза массой m_1.

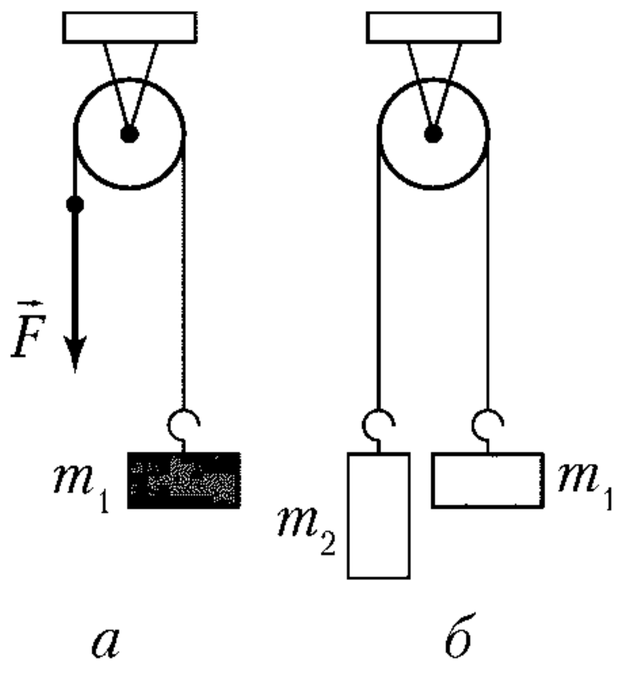


Рис. 109

583. Через неподвижный блок перекинута веревка, к одному из концов которой привязан груз массой $m_1 = 64$ кг. На другом конце повис гимнаст массой $m_2 = 65$ кг, который, вы-

© MICHAEL GAUTIER

бирая веревку, поднимает груз, оставаясь при этом на одном и том же расстоянии от пола. Через какое время груз будет поднят на высоту $h = 45$ см? Массой веревки и блока пренебречь.

584. Через легкий блок (рис. 110), вращающийся без трения вокруг неподвижной оси, перекинута невесомая нерастяжимая нить, на концах которой привязаны грузы массами m_1 и m_2 ($m_2 = 2m_1$). Груз массой m_2 поднимают на высоту $h_2 = 30$ см (при этом груз массой m_1 касается пола) и отпускают. На какую максимальную высоту поднимется груз массой m_1 после того, как груз массой m_2 коснется пола? Сопротивлением воздуха пренебречь.

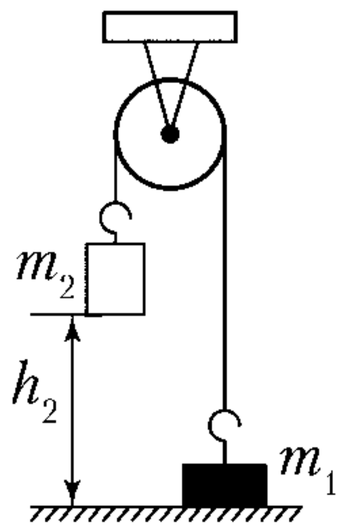


Рис. 110

585. На длинной невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через легкий неподвижный блок, подвешены на одном уровне одинаковые грузы массой m каждый. От одного из грузов отделяется часть, масса которой $m_0 = 0{,}2m$, и через время $t_1 = 1$ с падает на землю. Через какое время после этого груз достигнет земли? Сопротивлением пренебречь.

586. Грузы массами $m_1 = 2{,}0$ кг и $m_2 = 1{,}0$ кг соединены невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через легкий блок. Определите модули ускорения грузов относительно земли, если поднимать блок вертикально вверх с постоянным ускорением, модуль которого $a_0 = 2{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

587. Брусок массой $m_1 = 400$ г, находящийся на горизонтальной поверхности (рис. 111), связан легкой нерастяжимой нитью с грузом массой $m_2 = 100$ г. Под действием груза брусок из состояния покоя проходит путь $s = 80$ см за время $t = 2{,}0$ с. Определите коэффициент трения между бруском и поверхностью. Массой блока и трением в нем пренебречь.

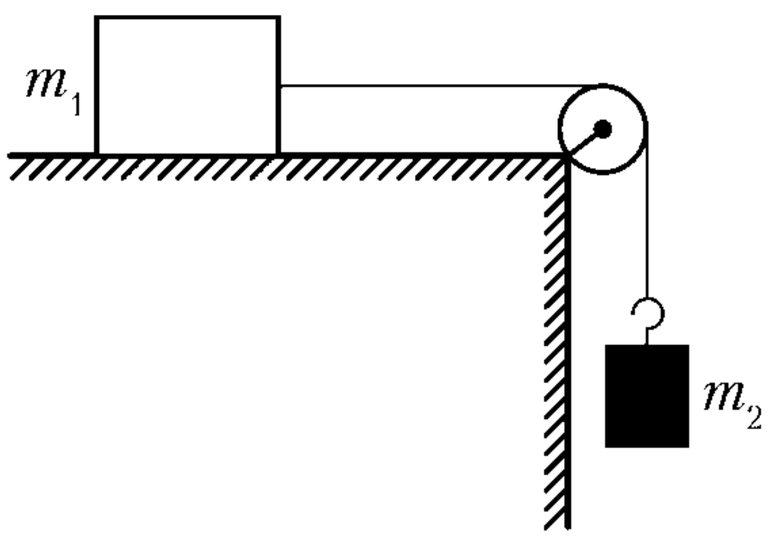


Рис. 111

588. Однородная веревка длиной $L = 75$ см начинает соскальзывать со стола, когда длина ее свешивающейся части $l = 25$ см. Определите коэффициент трения между веревкой и столом.

© MICHAEL GAUTIER

589. На гладком горизонтальном столе лежит брусок массой $M = 2{,}5$ кг, на котором находится другой брусок массой $m = 1{,}5$ кг (рис. 112). Оба бруска соединены невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через легкий блок, вращающийся без трения вокруг оси. Коэффициент трения скольжения между брусками $\mu = 0{,}40$. Чему равен модуль силы $\vec{F}$, действующей в горизонтальном направлении на нижний брусок, если модуль его перемещения $\Delta r = 10$ см за время $t = 1{,}0$ с?

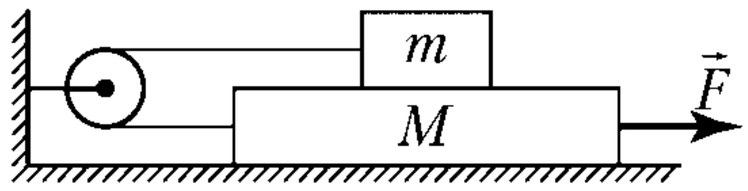


Рис. 112

17

Динамика движения по наклонной плоскости

590. По наклонной плоскости, образующей угол α с горизонтом, соскальзывает шайба. Определите модуль ускорения шайбы, если: а) трением пренебречь; б) коэффициент трения шайбы о плоскость равен μ.

591. Брусок толкнули, сообщив ему скорость, направленную вверх вдоль наклонной плоскости высотой $h = 3$ м и длиной $l = 5$ м. Определите коэффициент трения, если брусок двигался вверх по наклонной плоскости с ускорением, модуль которого $a = 7\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

592. Брусок толкнули вверх по наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 45°$ с горизонтом. Поднявшись до определенной высоты, брусок стал двигаться вниз. Коэффициент трения скольжения $\mu = 0{,}8$. Определите отношение: а) модулей ускорения бруска при движении его вверх и вниз по наклонной плоскости; б) времени подъема и спуска бруска по наклонной плоскости.

593. С вершины детской горки высотой $h = 5{,}0$ м и углом наклона $\alpha = 45°$ к горизонту ребенок отпускает кубик без начальной скорости. Определите модуль скорости движения кубика в конце горки, если коэффициент трения кубика о поверхность горки $\mu = 0{,}19$.

© MICHAEL GAUTIER

594. Определите модуль минимальной начальной скорости, которую надо сообщить шайбе вверх вдоль наклонной плоскости, чтобы она достигла ее вершины. Высота наклонной плоскости $h = 6{,}0$ м, длина $l = 10$ м, коэффициент трения $\mu = 0{,}48$.

595. При разгрузке транспортного самолета ящики спускают по наклонному трапу высотой $h = 5{,}0$ м и длиной $l = 13$ м. Коэффициент трения скольжения ящика о поверхность трапа $\mu = 0{,}40$. За какое время ящик соскальзывает по трапу?

596. Если книгу положить на наклонную плоскость с углом наклона $\alpha_1 = 30°$, то она останется в покое. Если увеличить угол наклона плоскости до $\alpha_2 = 60°$, книга соскальзывает с нее. Во сколько раз больше модуль силы трения в первом случае, чем во втором? Коэффициент трения между книгой и наклонной плоскостью $\mu = 0{,}40$.

597. Брусок находится на вершине деревянной наклонной плоскости, длина основания которой $b = 6{,}0$ м, высота $h = 6{,}0$ м. За какое время брусок соскользнет к основанию плоскости, если его отпустить без начальной скорости? Известно, что предельный угол наклона, при котором брусок находится на аналогичной деревянной плоскости в покое, соответствует высоте наклонной плоскости $h_0 = 2{,}4$ м и прежней длине основания.

598. За какое время шайба соскользнет с наклонной плоскости высотой $h = 2{,}5$ м и углом наклона $\alpha = 60°$ к горизонту, если по наклонной плоскости из такого же материала, угол наклона которой $\beta = 30°$, она движется вниз равномерно?

599. По доске, наклоненной под углом $\alpha_1 = 45°$ к горизонту, шайба соскальзывает за время $t_1 = 5{,}0$ с, а по наклоненной под углом $\alpha_2 = 60°$ — за время $t_2 = 4{,}0$ с. Определите коэффициент трения скольжения шайбы по доске, если начальная скорость шайбы в обоих случаях равна нулю.

600. На наклонной плоскости длиной $l = 5{,}0$ м и высотой $h = 3{,}0$ м находится груз массой $m = 50$ кг. Коэффициент трения $\mu = 0{,}20$. Определите модуль силы, направленной вдоль плоскости, которую надо приложить к грузу, чтобы: а) тянуть его по наклонной плоскости с постоянной скоростью; б) тянуть его с ускорением, модуль которого $a = 1{,}0 \ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

© MICHAEL GAUTIER

601. На наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом, находится ящик массой $m = 20$ кг. Определите модуль минимальной силы, с которой необходимо действовать на ящик, чтобы он не двигался, если коэффициент трения между ящиком и наклонной плоскостью $\mu = 0{,}10$. Рассмотрите случаи, в которых сила направлена относительно наклонной плоскости: а) параллельно; б) горизонтально; в) перпендикулярно.

602. На плоскости, наклоненной под углом $\alpha = 30°$ к горизонту, лежит брусок. Брусок будет двигаться равномерно, если к нему вдоль этой плоскости приложить силу, модуль которой $F_1 = 2{,}4$ Н, направленную вверх, или силу, модуль которой $F_2 = 0{,}4$ Н, направленную вниз. Определите массу бруска.

603. Для удержания бруска на наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 60°$ к горизонту нужна минимальная сила, модуль которой $F_1 = 6{,}7$ Н, направленная вдоль плоскости, а для равномерного подъема по наклонной плоскости — сила, модуль которой $F_2 = 10{,}7$ Н. Масса бруска $m = 1{,}0$ кг. Определите коэффициент трения.

604. Вверх по плоскости, наклоненной под углом $\alpha = 45°$ к горизонту, пущена шайба со скоростью, модуль которой $v_0 = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Коэффициент трения шайбы о плоскость $\mu = 0{,}8$. Определите модуль скорости движения шайбы в момент возвращения ее в исходную точку.

605. Брусок поднимают вверх вдоль наклонной плоскости, прикладывая к нему горизонтальную силу, модуль которой вдвое больше модуля действующей на брусок силы тяжести. Высота наклонной плоскости $h = 3$ м, длина $l = 5$ м. Определите модуль ускорения бруска, если коэффициент трения между ним и наклонной плоскостью $\mu = 0{,}2$.

606. Определите угол наклона плоскости к горизонту, если находящийся на ней брусок массой $m = 2{,}0$ кг под действием силы, модуль которой $F = 20$ Н, направленной вдоль наклонной плоскости, движется равномерно к ее вершине, а предоставленный самому себе — скользит равномерно вниз.

607. У бруска одна сторона гладкая, а другая — шероховатая. Если его положить на наклонную плоскость шероховатой стороной, он

© MICHAEL GAUTIER

будет находиться в состоянии покоя, при этом сила трения покоя будет максимальной. Определите модуль ускорения бруска, с которым он будет соскальзывать, если его перевернуть. Коэффициент трения между шероховатой стороной бруска и наклонной плоскостью равен μ.

608. Два бруска, связанные невесомой нитью, поднимают с постоянной скоростью вверх вдоль наклонной плоскости (рис. 113), прикладывая к верхнему бруску массой $m_1 = 2{,}0$ кг силу, модуль которой $F = 30$ Н, параллельную плоскости. Коэффициенты трения между брусками и плоскостью одинаковы. Определите модуль силы натяжения нити, если масса нижнего бруска $m_2 = 4{,}0$ кг.

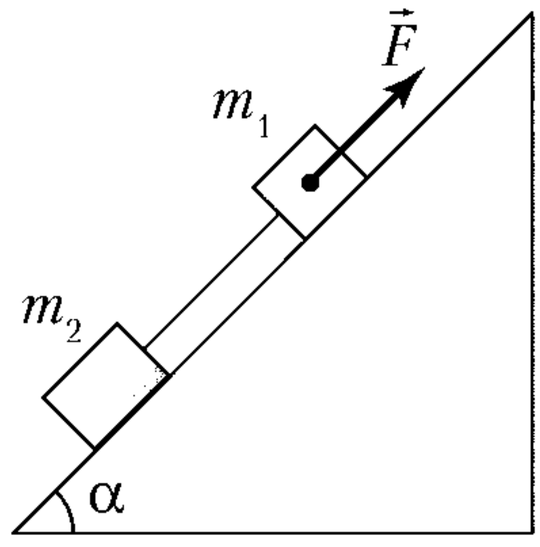


Рис. 113

609. Два бруска массами $m_1 = 4{,}0$ кг и $m_2 = 6{,}0$ кг, связанные невесомой нерастяжимой нитью, соскальзывают с наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 60°$ с горизонтом. Коэффициент трения между нижним бруском и плоскостью $\mu_1 = 0{,}15$, а между верхним бруском и плоскостью $\mu_2 = 0{,}40$. Определите модуль силы натяжения нити.

610. Брусок массой m_1, находящийся на наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом (рис. 114), соединен невесомой нерастяжимой нитью, переброшенной через легкий блок, с грузом массой m_2. Определите модуль силы натяжения нити, на которой опускается груз, если коэффициент трения бруска о плоскость μ. Трением в оси блока пренебречь.

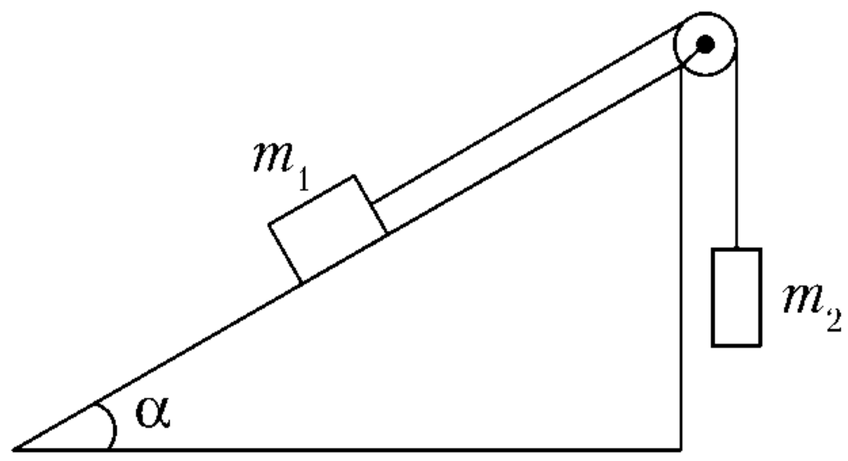


Рис. 114

611. На наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 60°$ с горизонтом, удерживают два соприкасающихся бруска (рис. 115). Массы брусков $m_1 = 1{,}0$ кг и $m_2 = 2{,}0$ кг. Коэффициенты трения брусков о плоскость соответственно равны $\mu_1 = 0{,}25$ и $\mu_2 = 0{,}10$. Определите модуль силы взаимодействия между брусками, если их отпустить без начальной скорости.

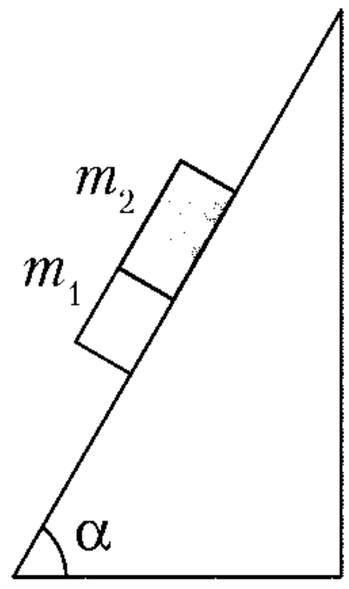


Рис. 115

© MICHAEL GAUTIER

612. На диаграмме (рис. 116) показано соотношение модулей сил, действующих на тюк хлопка, соскальзывающий с наклонного трапа. Определите модуль ускорения тюка.

Диаграмма модулей сил, действующих на тюк

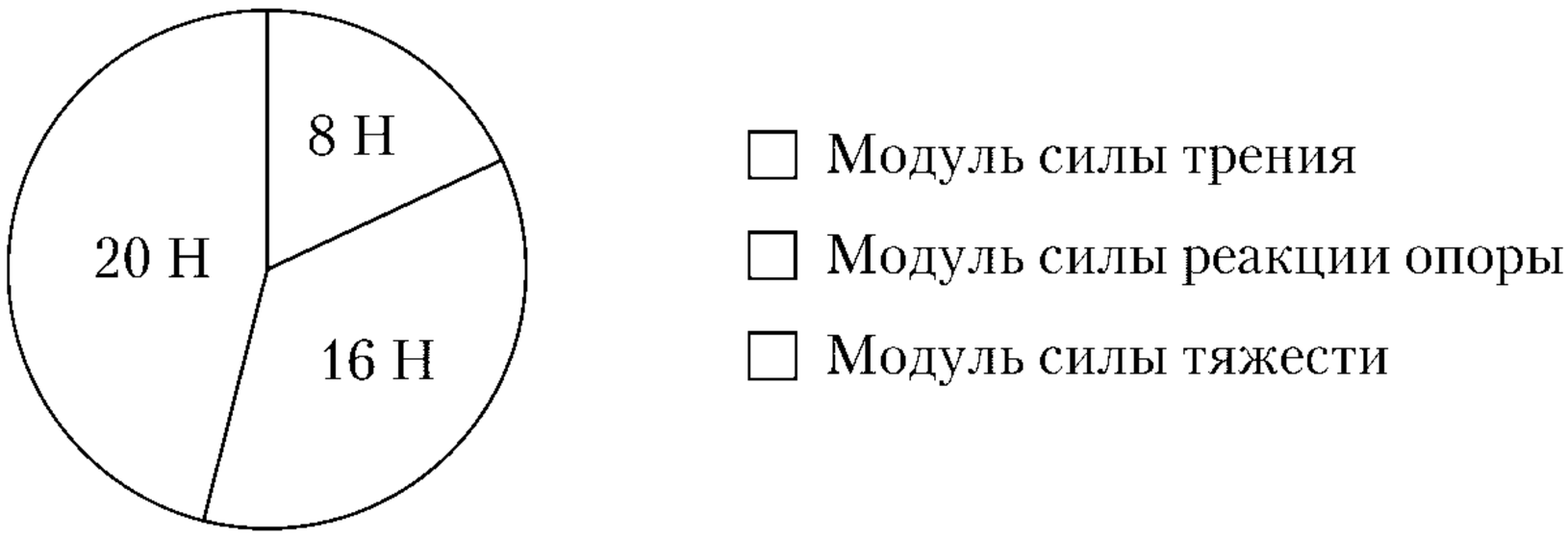
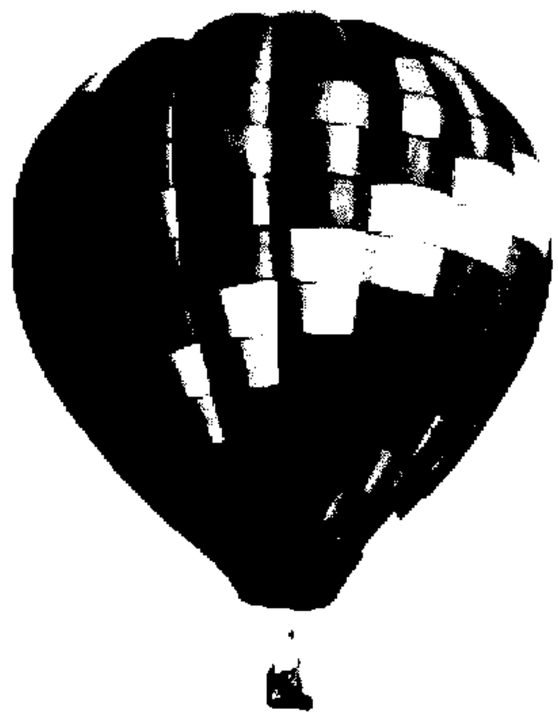


Рис. 116

613. (э) Экспериментально покажите, что предельный угол, при котором тело соскальзывает с наклонной плоскости, зависит от максимальной силы трения покоя.

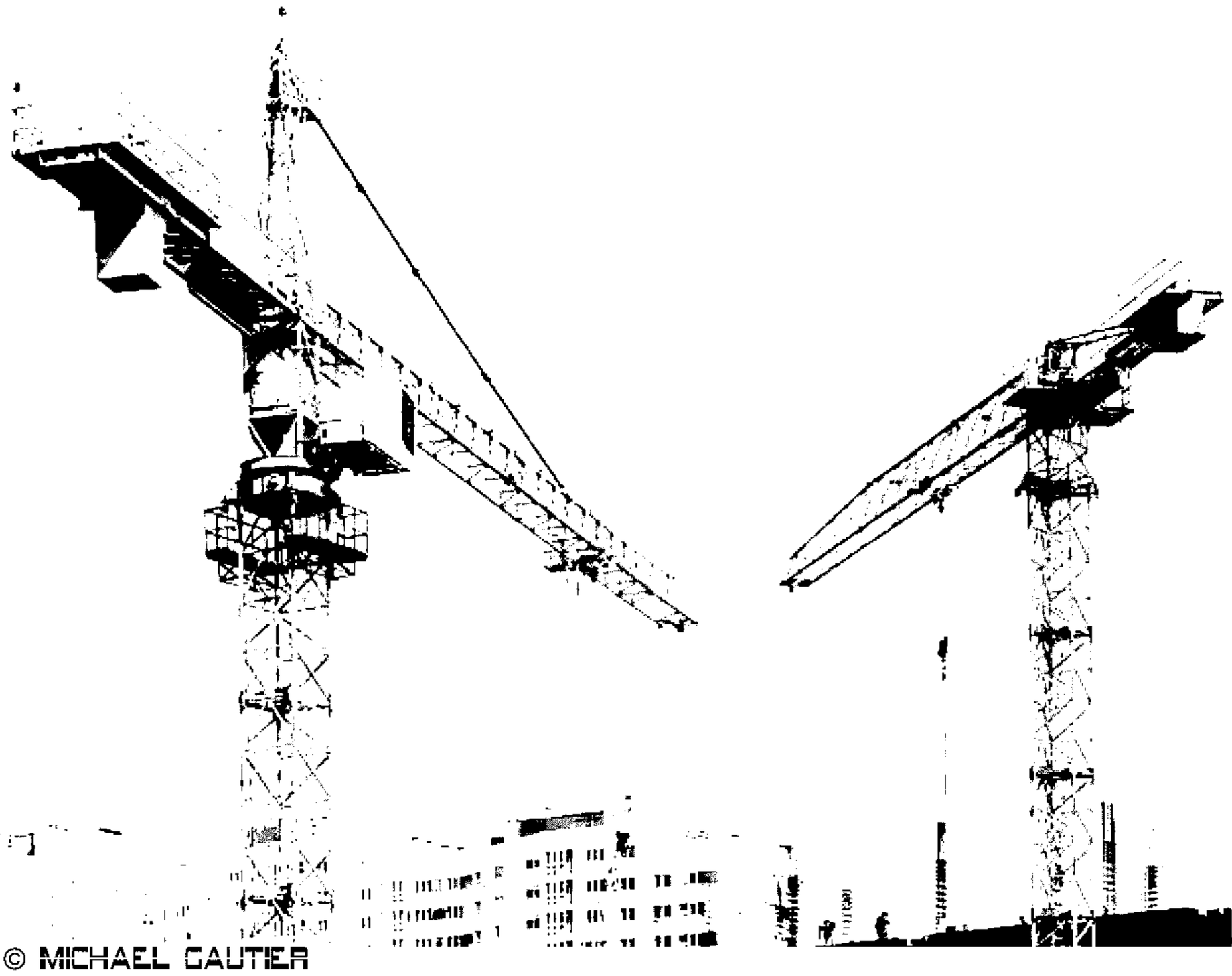
Оборудование: доска, карандаш, транспортир.

© MICHAEL GAUTIER



3 Основы статики

18. Равновесие твердых тел. Простые механизмы
19. Действие жидкости и газа на погруженное в них тело. Закон Архимеда. Условия плавания тел



© MICHAEL GAUTIER

18

Равновесие твердых тел. Простые механизмы

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Момент силы	$M = \pm F \cdot l$	M — момент силы; F — модуль приложенной силы; l — плечо приложенной силы
Коэффициент полезного действия (КПД) механизма	$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{сов}}} \cdot 100\ \%$	η — КПД; $A_{\text{пол}}$ — полезная работа; $A_{\text{сов}}$ — совершенная работа

614. Почему рукоятки ножниц для резки металлов (рис. 117) делают длинными, а лезвия — короткими?

Рис. 117

615. Почему дверные ручки прикрепляют на том краю двери, который удален от петель, на которых висит дверь?

616. Какой шоколадный батончик легче разломать на две части — длинный или короткий? Почему?

Рис. 118

617. Для чего служат лепестки у гайки-барашка (рис. 118)?

618. К концам легкого уравновешенного горизонтального стержня приложены силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ (рис. 119), модули которых $F_1 = 4{,}0$ Н и $F_2 = 9{,}0$ Н. Определите плечо второй силы относительно точки O, если плечо первой силы $l_1 = 36$ см.

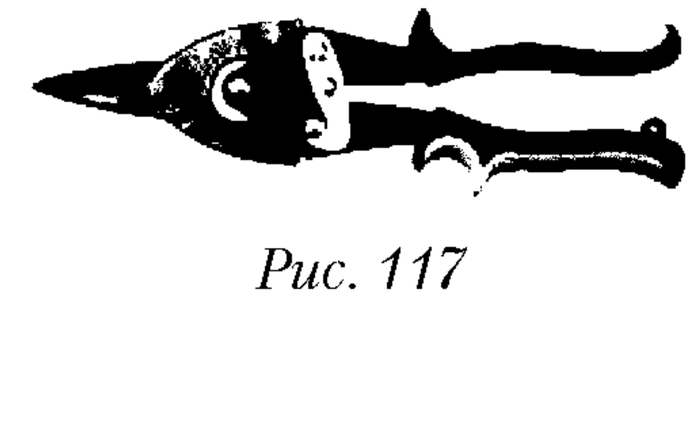


Рис. 119

© MICHAEL GAUTIER

619. На рисунке 120 представлены три картины, на которых изображены три колодца. Какие простые механизмы используются для подъема воды из колодцев? Какие из этих механизмов позволяют выиграть в силе?

Лейб-гусары у водопоя.
Микешин Михаил Осипович

Зимним утром.
Джордж Харди

У колодца.
Даниэль Р. Найт

Рис. 120

620. На рисунке 121 изображен легкий рычаг длиной $l = 84$ см, находящийся в равновесии. Определите модуль силы $\vec{F}_1$, если модуль силы $F_2 = 5{,}0$ Н. Длина $l_1 = 28$ см.

621. Определите модуль силы $\vec{F}$, приложенной к уравновешенной однородной планке (рис. 122), если масса кубика, подвешенного к ней на невесомой нити, $m = 0{,}3$ кг.

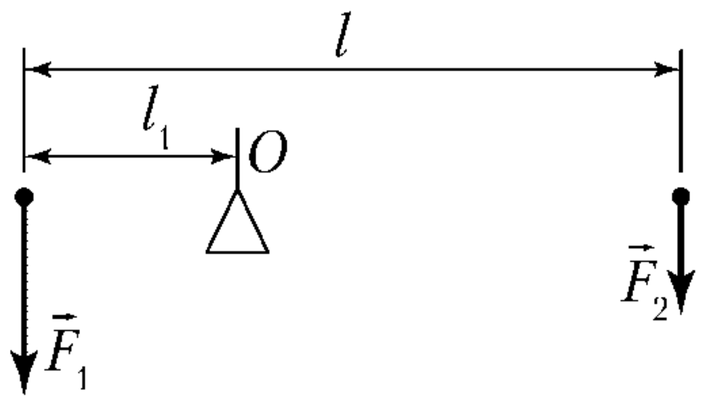


Рис. 121

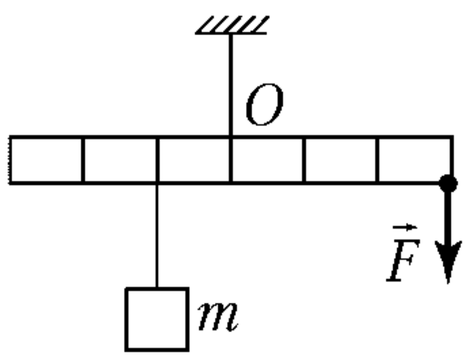


Рис. 122

622. Однородная труба лежит на горизонтальной платформе, один конец которой выступает за край платформы на $\varepsilon = 20\,\%$ своей длины. Определите модуль веса трубы, если модуль минимальной силы $\vec{F}$, которую необходимо приложить к свободному концу трубы, чтобы она начала поворачиваться в вертикальной плоскости вокруг края платформы, $F = 840$ Н. Сила $\vec{F}$ направлена вертикально вниз.

© MICHAEL GAUTIER

623. К легкому рычагу на невесомой нити подвешен груз массой $m = 0{,}80$ кг (рис. 123). Определите модуль силы $\vec{F}$, приложенной к левому концу рычага, если он находится в равновесии.

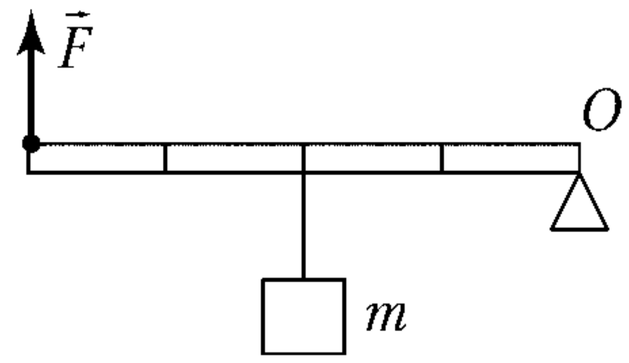


Рис. 123

624. Определите модуль силы $\vec{F}$, приложенной к однородному рычагу в точке A (рис. 124). Плотность вещества кубика, подвешенного на невесомой нити к рычагу, $\rho = 6{,}0 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Объем кубика $V = 200$ см^3.

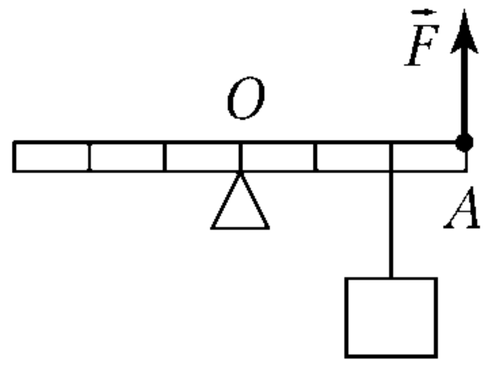


Рис. 124

625. На одном конце однородного стержня, подвешенного на нити, прикреплен груз, модуль веса которого $P = 12$ Н. Определите массу стержня, если точка подвеса стержня делит его длину в отношении 1 : 5. Стержень находится в равновесии, располагаясь горизонтально.

626. На горизонтальной площадке лежит однородная балка массой $m = 0{,}80$ т. Определите модуль минимальной силы, которую надо приложить к одному из концов балки, чтобы оторвать ее от площадки.

627. Однородная линейка OB (рис. 125) массой $m_0 = 50$ г подвешена на двух вертикальных нитях. В точке A к линейке на легкой нити подвешен груз массой $m = 80$ г. Определите модуль силы натяжения нити CB, если линейка расположена горизонтально.

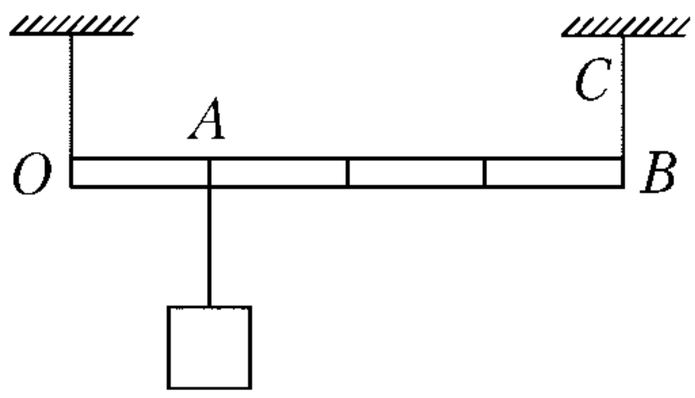


Рис. 125

628. К концам уравновешенного горизонтального легкого рычага длиной $l = 96$ см приложены силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, направленные вертикально вниз. Модули сил $F_1 = 5$ Н, $F_2 = 25$ Н. На каком расстоянии от точки приложения меньшей силы расположена точка опоры рычага?

629. Однородный стержень длиной $l = 60$ см и массой $m_0 = 0{,}6$ кг подвешен на нити и находится в равновесии, располагаясь горизонтально. К концам стержня на невесомых нитях подвешены два шара (рис. 126). Определите массу второго шара, если масса первого $m_1 = 1{,}2$ кг.

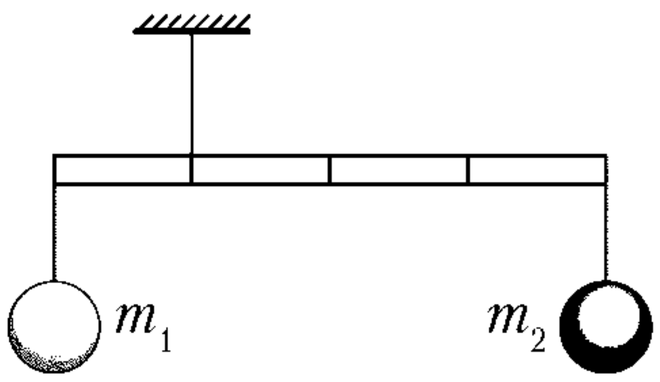


Рис. 126

© MICHAEL GAUTIER

630. На рисунке 127 изображен однородный уравновешенный рычаг. К нему приложены силы, модули которых $F_1 = 10$ Н и $F_2 = 12$ Н. Определите массу рычага.

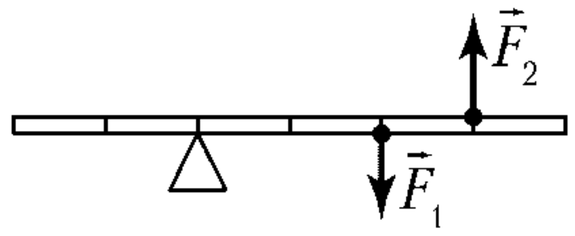


Рис. 127

631. На рисунке 128 изображен однородный уравновешенный рычаг, подвешенный в точке O. К нему приложены силы, модули которых $F_1 = 10$ Н и $F_2 = 8$ Н. Длины $l_1 = 80$ см, $l_2 = 60$ см. Определите массу рычага.

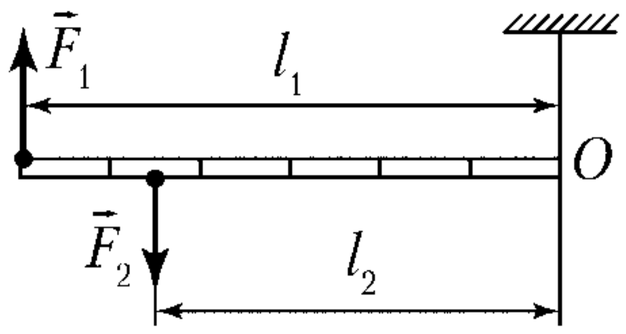


Рис. 128

632. На рисунке 129 изображен однородный уравновешенный стержень, подвешенный в точке O. К нему приложены силы, модули которых $F_1 = 1{,}5$ Н и $F_2 = 9{,}0$ Н. Длина $l_1 = 80$ см. Масса рычага $m = 1{,}0$ кг. Определите плечо силы $\vec{F}_2$ относительно точки O.

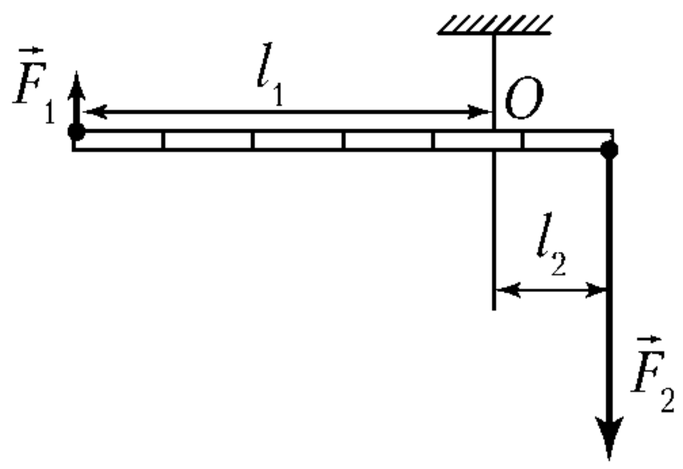


Рис. 129

633. На рисунке 130 изображен однородный уравновешенный рычаг, подвешенный в точке O. К нему приложены силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$. Модуль силы $F_1 = 2{,}0$ Н. Длины $l_1 = 1{,}2$ м, $l_2 = 20$ см. Определите модуль силы F_2, если масса рычага $m_0 = 0{,}52$ кг.

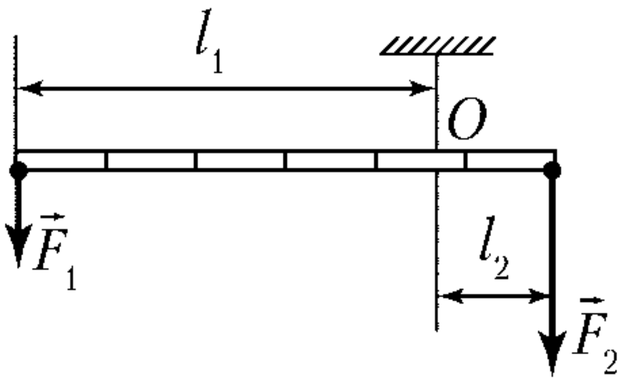


Рис. 130

634. К уравновешенному однородному горизонтальному рычагу (рис. 131) приложены силы, модули которых $F_1 = 8{,}0$ Н и $F_2 = 6{,}0$ Н. Определите массу рычага, если масса гири, подвешенной к рычагу, $m = 5{,}0$ кг.

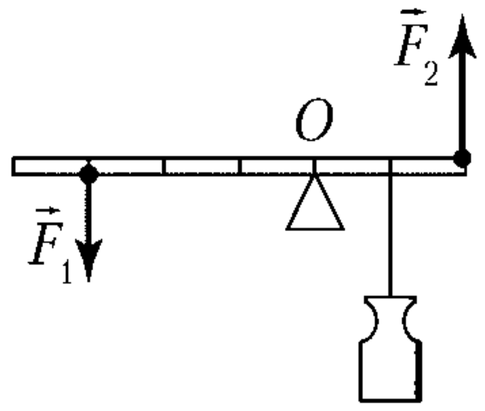


Рис. 131

635. Однородный стержень длиной $L = 1{,}0$ м и массой $m = 12$ кг подвешен на расстоянии $l = 20$ см от одного из его концов. Определите модуль силы, которую необходимо приложить вертикально вниз к короткому концу стержня, чтобы удержать стержень в горизонтальном положении.

© MICHAEL GAUTIER

636. На столе перпендикулярно его краю лежит однородная линейка длиной $L = 75$ см, выступающая за край стола. Если к выступающему за край стола концу линейки подвесить груз, масса которого в $n = 2{,}0$ раза больше массы линейки, то ее другой конец начнет подниматься. На каком расстоянии от края стола находится середина линейки?

637. Сначала на одну чашу неравноплечих рычажных весов положили апельсин, а на другую — поставили три гири массами 10, 50 и 100 г. Весы оказались в равновесии. Затем гири сняли с весов, а апельсин переложили на другую чашу весов. Чтобы уравновесить весы, на свободную чашу поставили две гири массами 50 г и 200 г. Определите массу апельсина.

638. Однородный стержень AB длиной $l = 156$ мм в средней точке O подвешен на нити (рис. 132). К его концам в точках A и B на невесомых нитях подвешены одинаковые стальные шарики. Один из них заменили на такой же по размерам однородный стеклянный шарик. На какое расстояние надо переместить другой стальной шарик, чтобы восстановить равновесие стержня в горизонтальном положении?

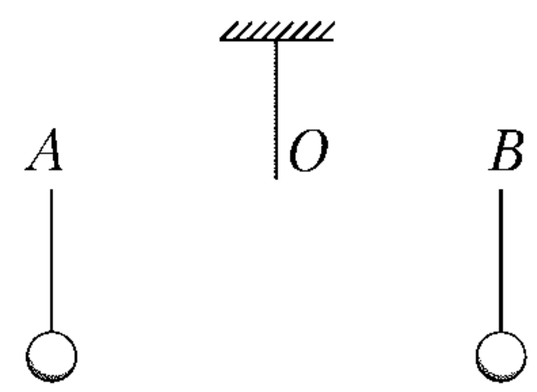


Рис. 132

639. К левому концу невесомого уравновешенного рычага приложена сила $\vec{F}_1$, направленная вертикально вверх (рис. 133), а в точке A к рычагу подвешен груз массой $m = 0{,}42$ кг. Определите модуль минимальной силы, которую потребуется приложить к рычагу в точке A, если груз перенести и подвесить к левому концу рычага, сохранив при этом горизонтальное равновесное положение рычага. Модуль силы $F_1 = 3{,}6$ Н.

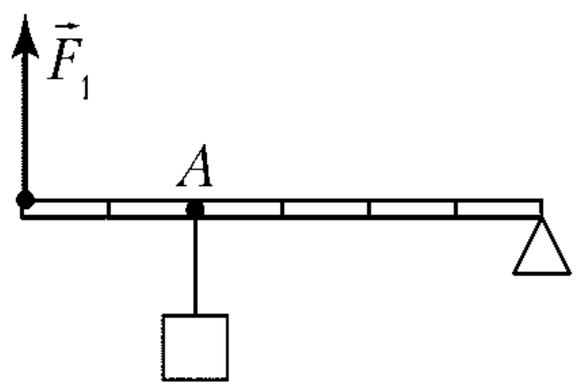


Рис. 133

640. Однородная горизонтально расположенная доска массой $m = 8{,}0$ кг уравновешена на опоре. Четверть доски отрезали. Определите модуль вертикально направленной силы, которую следует приложить к отрезанному концу доски, чтобы она снова оказалась в горизонтальном положении.

641. Два груза уравновешены на концах невесомого горизонтального стержня, причем точка опоры делит стержень в отношении 5 : 7.

© MICHAEL GAUTIER

Определите модуль силы тяжести, действующей на груз большей массы, если модуль силы, с которой опора действует на стержень, $N = 72$ Н.

642. Однородный горизонтальный стержень лежит на двух опорах. Расстояние от центра стержня до ближайшей опоры $l = 30$ см. Разность модулей сил, с которыми опоры действуют на стержень, составляет 20 % от модуля действующей на стержень силы тяжести. Определите расстояние между опорами.

643. Однородную проволоку AB массой $m_0 = 78$ г согнули под прямым углом. При этом часть AO оказалась вдвое длиннее части OB (рис. 134). Согнутую проволоку подвесили на нити в точке O. Определите массу шарика, который прикрепили к концу B проволоки, если части проволоки образовали с вертикалью углы $\alpha = 45°$.

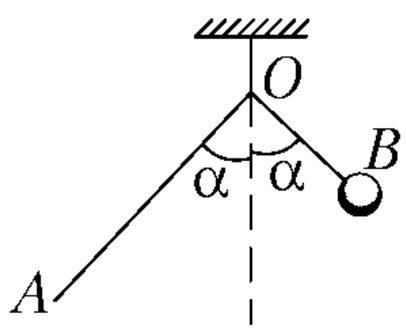


Рис. 134

644. Глубина лунки в доске AB (рис. 135), в которую вставлен шар, в 2 раза меньше радиуса шара. Левый конец доски начинают поднимать. При каком минимальном угле наклона доски к горизонту шарик выскочит из лунки? Силой трения пренебречь.

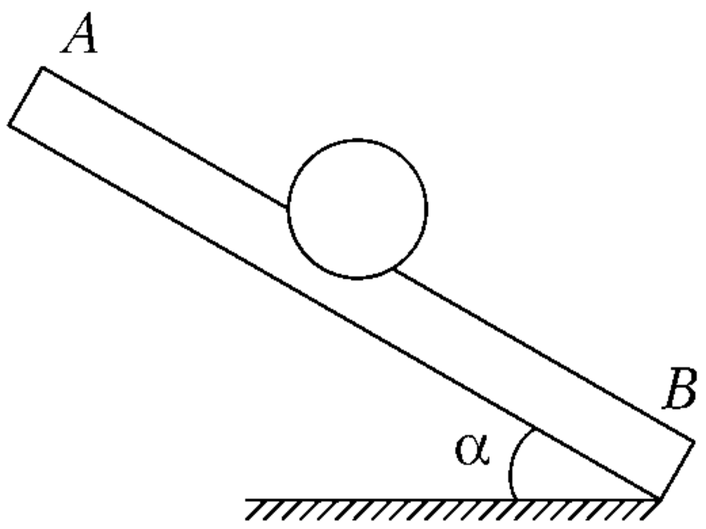


Рис. 135

645. Однородный цилиндр радиусом $R = 50$ см и массой $m = 10$ кг лежит перед ступенькой высотой $h = 10$ см (рис. 136). Определите: а) модуль минимальной горизонтальной силы, которую надо приложить к оси цилиндра, чтобы поднять его на ступеньку; б) модуль минимальной силы, которую надо приложить к оси цилиндра, чтобы поднять его на ступеньку; в) модуль минимальной силы, которую надо приложить к поверхности цилиндра, чтобы поднять его на ступеньку.

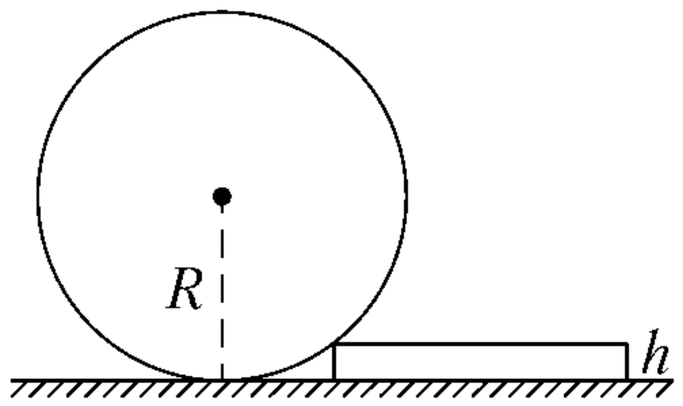


Рис. 136

646. Однородный стержень массой $m_0 = 96$ г согнут посередине под прямым углом и шарнирно подвешен за один из его концов. Трение в шарнире пренебрежимо мало. Определите: а) угол, который образует верхняя половина стержня с вертикалью; б) массу груза, который надо подвесить на другом конце стержня, чтобы середина

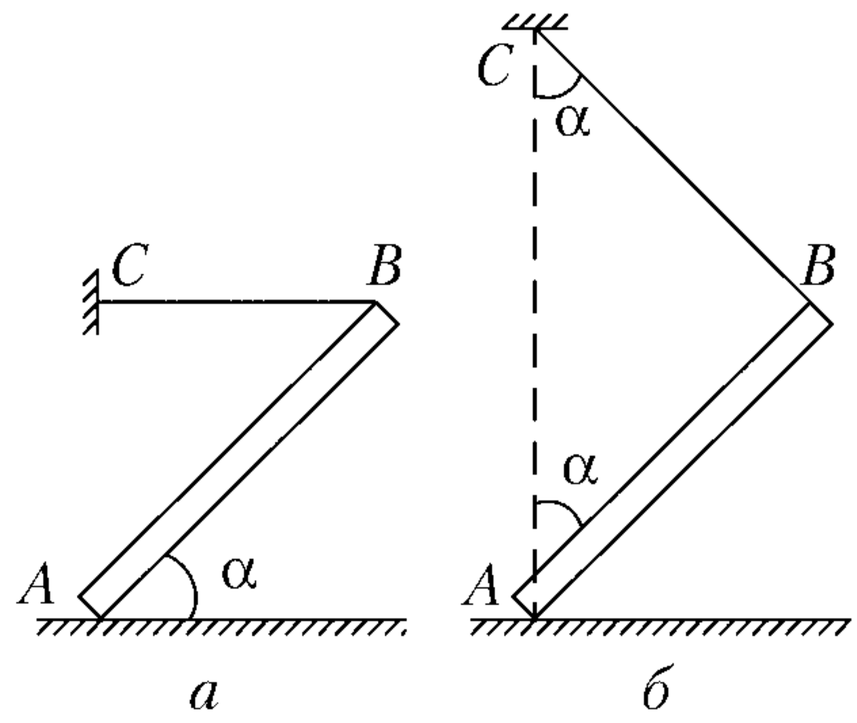
© MICHAEL GAUTIER

его нижней половины находилась на одной вертикальной линии с точкой подвеса; в) модуль минимальной силы, которую следует приложить к свободному концу стержня, чтобы его верхняя половина заняла вертикальное положение.

647. Стержень массой $m_0 = 300$ г согнут под прямым углом в точке, которая делит его в отношении 1 : 2, и подвешен на нити, привязанной к точке сгиба. Определите массу груза, который надо подвесить к концу короткой части стержня, чтобы его концы находились на одной горизонтали.

648. Однородный стержень массой $m = 80$ г согнули посередине под углом $\alpha = 120°$ и подвесили на нити, привязанной к точке сгиба. Определите массу груза, который надо подвесить к концу одной стороны угла, чтобы его другая сторона приняла горизонтальное положение.

649. Однородный стержень AB массой $m = 2{,}0$ кг опирается на шероховатый пол и удерживается в равновесии легкой нитью BC (рис. 137, *а*, *б*). Определите модуль минимальной силы трения, действующей со стороны пола на стержень, при которой стержень остается в равновесии. Угол $\alpha = 45°$.



а *б*

Рис. 137

650. Однородный стержень AB массой $m_1 = 4{,}0$ кг шарнирно прикреплен в точке A (рис. 138) к неподвижной опоре и может свободно вращаться в вертикальной плоскости. К стержню в точке B прикреплена невесомая нить, перекинутая через гладкий гвоздь C, на другом конце которой висит груз массой $m_2 = 2{,}0$ кг. Расстояние $AB = AC$. Определите угол наклона стержня к вертикали, при котором система будет находиться в равновесии.

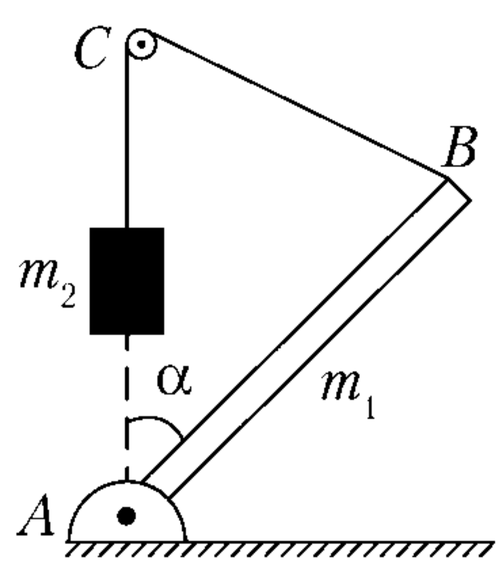


Рис. 138

651. Однородный стержень массой m шарнирно прикреплен нижним концом к неподвижной опоре и может вращаться в вертикальной плоскости. Стержень удерживается в наклонном поло-

© MICHAEL GAUTIER

жении горизонтальным тросом, прикрепленным к его верхнему концу. Определите модули сил реакции шарнира и натяжения троса. Угол наклона стержня к горизонту равен α.

652. Однородный стержень шарнирно закреплен в точке O (рис. 139) и может свободно вращаться в вертикальной плоскости. Стержень отведен на угол α и удерживается силой $\vec{F}$, направленной перпендикулярно к нему. Определите массу стержня и модуль силы, с которой он действует на шарнир.

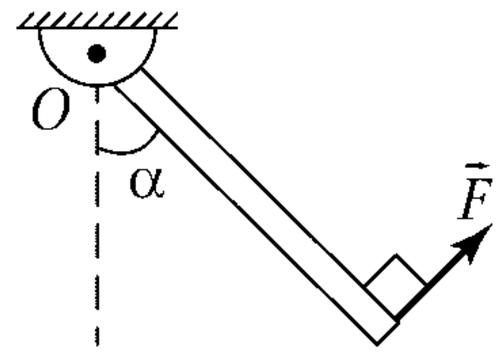


Рис. 139

653. Два шарика, соединенные невесомым жестким стержнем, подвешены на невесомых нитях одинаковой длины, концы которых закреплены в одной точке (рис. 140). Нить, на которой висит первый шарик, образует угол $\alpha = 30°$ с вертикалью, а нить, на которой висит второй шарик, — угол $\beta = 45°$. Определите массу первого шарика, если масса второго $m_2 = 49$ г.

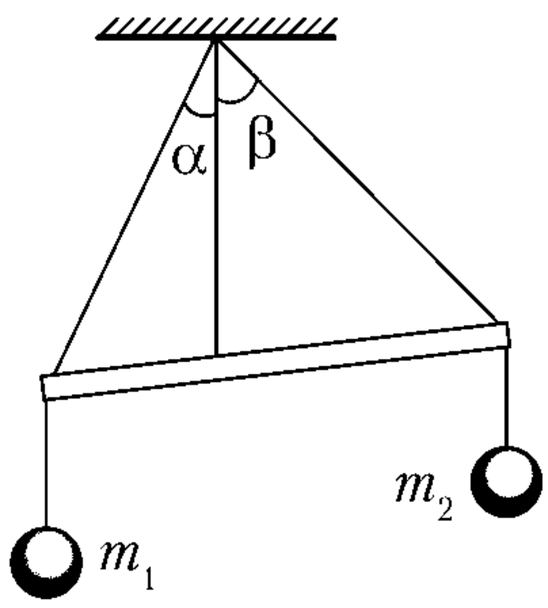


Рис. 140

654. Внутрь гладкого высокого цилиндрического стакана с внутренним радиусом $R = 6$ см помещают палочку длиной $l = 13$ см и массой $m = 50$ г. Определите модуль силы, с которой действует на стенку стакана верхний конец палочки.

655. Однородный шест массой $m = 4{,}0$ кг приставлен к гладкой вертикальной стене под углом $\alpha = 45°$ к горизонту. Определите: а) модуль силы давления шеста на стену; б) модуль минимальной силы, которую надо приложить в горизонтальном направлении к шесту на расстоянии 1/3 от его верхнего конца, чтобы шест не давил на стену.

656. Однородную планку длиной $l = 1{,}5$ м и массой $m = 2{,}0$ кг прислонили к гладкому краю стола. При этом расстояние от верхнего конца планки до точки касания стола $l_1 = 50$ см. Определите модуль силы давления планки на стол, если высота стола $h = 80$ см.

657. Нижние концы лестницы-стремянки массой $m = 10$ кг соединены веревкой. Каждая сторона лестницы составляет с полом угол $\alpha = 45°$. Определите модуль силы натяжения веревки. Трением пренебречь.

© MICHAEL GAUTIER

658. Лестница длиной $l = 4{,}0$ м приставлена к гладкой стене под углом $\alpha = 60°$ к горизонту. Коэффициент трения между лестницей и полом $\mu = 0{,}25$. На какое максимальное расстояние вдоль лестницы может подняться человек, прежде чем лестница начнет скользить? Массой лестницы пренебречь.

659. Однородная доска приставлена к стене. При каком наименьшем угле между доской и горизонтальным полом доска сохранит равновесие, если коэффициент трения между доской и полом $\mu_1 = 0{,}40$, а между доской и стеной $\mu_2 = 0{,}50$?

660. На шероховатой доске стоит однородный цилиндр радиусом R. Один конец доски начали медленно поднимать. Когда доска составила с горизонтом угол α, цилиндр стал опрокидываться. Определите высоту цилиндра.

661. В кузове грузовика стоит однородный цилиндр, радиус основания которого $R = 10$ см, высота $h = 50$ см. Определите модуль максимального ускорения, с которым может тормозить грузовик, чтобы цилиндр не опрокинулся. Скольжение цилиндра по полу кузова невозможно.

662. На наклонной плоскости находится цилиндр, удерживаемый нитью, один конец которой прикреплен к цилиндру, а другой — к стенке (рис. 141). Коэффициент трения цилиндра о плоскость μ. Нить параллельна наклонной плоскости. При каком максимальном значении угла α цилиндр не будет скатываться с наклонной плоскости?

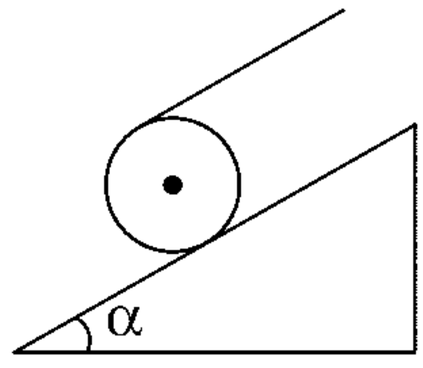


Рис. 141

663. Шар массой $m = 3{,}0$ кг находится на наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 60°$ с горизонтом. Равновесие шара достигается за счет трения о плоскость и натяжения нити, прикрепленной одним концом к верхней части шара, а другим — к вершине наклонной плоскости. Определите модуль силы натяжения нити, если она направлена горизонтально.

664. Однородный брусок поставлен на горизонтальную плоскость. К верхней грани бруска приложена сила, направленная горизонтально. Ширина бруска, измеренная в направлении действия силы, $l = 18$ см. Коэффициент трения бруска о плоскость $\mu = 0{,}30$. Определите высоту бруска, если он находится на грани опрокидывания.

© MICHAEL GAUTIER

665. Однородный прямоугольный брусок (рис. 142) высотой a и длиной $2a$ тянут с постоянной скоростью по горизонтальной плоскости за веревку, угол α наклона которой можно изменять. Коэффициент трения бруска о плоскость $\mu = 0{,}50$. При каком наименьшем угле α_{min} брусок начнет приподниматься?

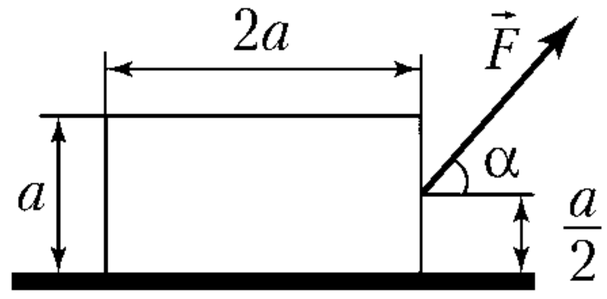


Рис. 142

666. Однородный шар радиусом R и массой m подвешен на нити, закрепленной на вертикальной стене (рис. 143). Точка A крепления шара к нити находится на одной вертикали с центром шара. Определите модули силы натяжения нити и силы трения между шаром и стеной, если шар находится в равновесии. Длина нити $l = 2R$.

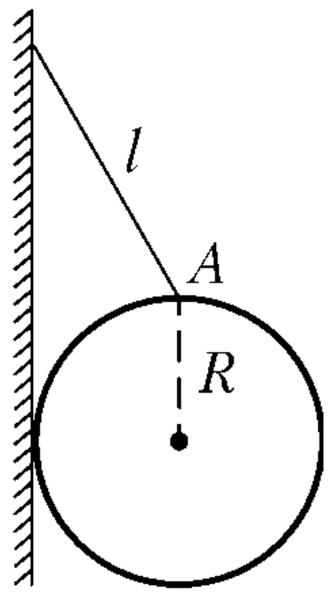


Рис. 143

667. Легкий равнобедренный клин с острым углом α забит в щель деревянной колоды. При каком максимальном угле α_{max} клин не выскочит из щели, если коэффициент трения скольжения клина по дереву равен μ?

668. На рисунке 144, *а*, *б* изображены легкие блоки, к которым на невесомых нитях подвешены грузы. Трение в блоках пренебрежимо мало. Сравните массы грузов m_1 и m_2.

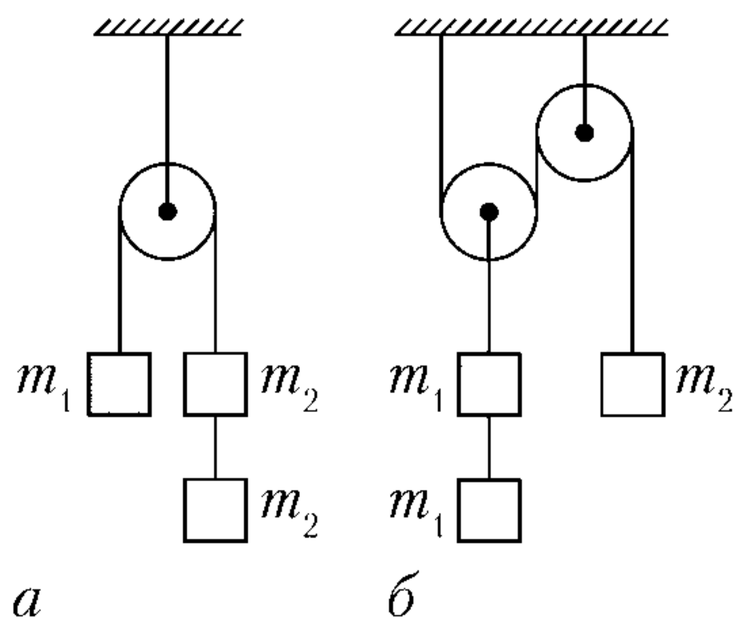


Рис. 144

669. Через легкий неподвижный блок переброшена невесомая нерастяжимая нить. К одному концу нити подвешен груз, модуль веса которого $P = 14$ Н, к другому концу нити приложена сила $\vec{F}$. Сравните модули сил $\vec{P}$ и $\vec{F}$. Какую работу совершит сила $\vec{F}$, если груз равномерно с помощью блока поднять на высоту $h = 5{,}0$ см?

670. Через неподвижный невесомый блок переброшена легкая нить. К одному ее концу подвешен шарик, к другому прикреплен динамометр, показания которого $F = 1{,}2$ Н. Определите объем шарика, если плотность его вещества $\rho = 0{,}60 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

© MICHAEL GAUTIER

671. К подвижному блоку (рис. 145) подвешен груз массой $m = 0{,}24$ кг. Определите модуль силы $\vec{F}$, действующей вертикально вверх на свободный конец нерастяжимой нити. Силой трения, массами блока и нитей пренебречь. На сколько изменится потенциальная энергия груза, если конец нити, к которой приложена сила $\vec{F}$, переместить вверх на высоту $h = 20$ см?

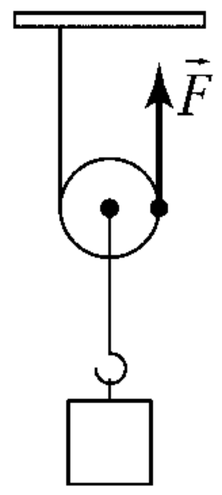


Рис. 145

672. К подвижному блоку массой $m_б = 40$ г подвешен груз массой $m_г = 0{,}30$ кг. Определите модуль силы, которую надо приложить к свободному концу нити, чтобы удержать груз в покое. Силой трения в блоке и массой нитей пренебречь.

673. Груз массой $m_г = 300$ кг поднимают вертикально вверх с помощью подвижного блока, прикладывая к свободному концу нити силу, модуль которой $F = 1{,}60$ кН. Определите массу блока. Силой трения и массой нитей пренебречь.

674. Система состоит из подвижного и неподвижного блоков, массами которых можно пренебречь. К подвижному блоку (рис. 146) на невесомой нити подвешен цилиндр массой $m_1 = 10$ кг. Определите массу шара, подвешенного к неподвижному блоку, если система находится в равновесии. Силой трения пренебречь.

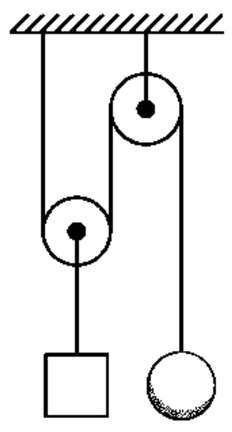


Рис. 146

675. К подвижному блоку подвешен цилиндр массой $m = 0{,}62$ кг. К свободному концу нити прикреплена пружина, действующая на нить с силой $\vec{F}$. Определите мощность силы $\vec{F}$, если пружина движется вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v = 30 \dfrac{\text{см}}{\text{с}}$. Силой трения, массами блока и нитей пренебречь.

676. На рисунке 147 изображен уравновешенный легкий рычаг. К левому концу рычага прикреплена нить, перекинутая через неподвижный легкий блок. К свободному концу нити подвешен груз массой $m_1 = 1{,}8$ кг. К рычагу подвешен шар массой $m_2 = 2{,}7$ кг. Определите длину рычага, если длина $l = 16$ см. Силой трения и массой нитей пренебречь.

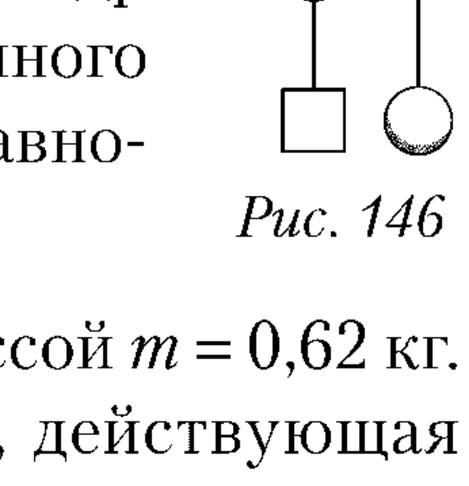


Рис. 147

© MICHAEL GAUTIER

677. К рычагу (рис. 148), модуль веса которого $P = 14$ Н, подвешен брусок массой $m_1 = 0{,}80$ кг. Чему равна масса шарика, подвешенного к концу нити, перекинутой через неподвижный блок? Рычаг находится в равновесии. Весом блока и нитей и силой трения пренебречь.

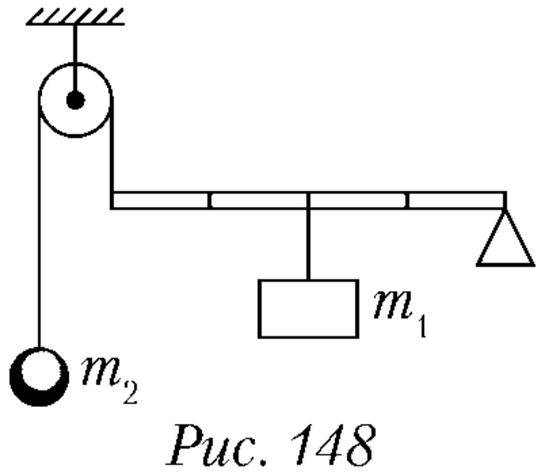


Рис. 148

678. На каком расстоянии от левого конца рычага (рис. 149) надо разместить точку опоры, чтобы рычаг находился в равновесии? Длина рычага $L = 60$ см. Силой трения, массами рычага, блока и нитей пренебречь. Массы грузов $m_1 = 2{,}0$ кг, $m_2 = 3{,}0$ кг.

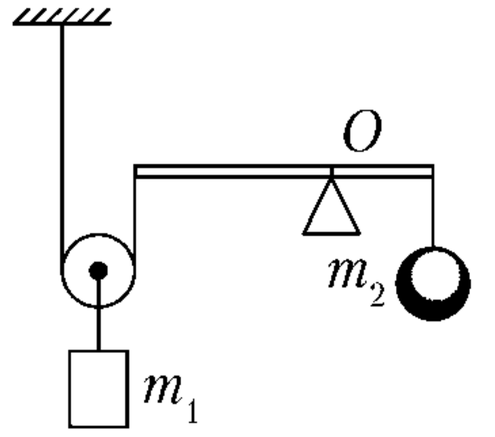


Рис. 149

679. Грузы массами $m_1 = 2{,}0$ кг и $m_2 = 1{,}0$ кг соединены невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через легкий гладкий неподвижный блок. Определите модули ускорения грузов относительно земли при равноускоренном подъеме блока вертикально вверх с ускорением, модуль которого $a_0 = 2{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

680. Определите плечо силы, с которой на рычаг (рис. 150) действует шарик массой m_2, если рычаг находится в равновесии. Длина рычага $L = 48$ см. Силой трения, массами рычага, блоков и нитей пренебречь. Масса кубика $m_1 = 0{,}66$ кг, масса шарика $m_2 = 2{,}2$ кг.

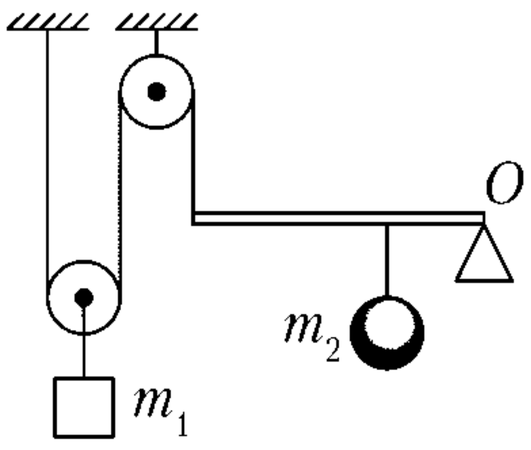


Рис. 150

681. С помощью системы невесомых блоков и невесомых нерастяжимых нитей в течение времени $t = 8{,}0$ с груз равномерно поднимают на высоту $h = 1{,}6$ м, прилагая силу, модуль которой $F = 15$ Н (рис. 151). Определите мощность этой силы. Трением пренебречь.

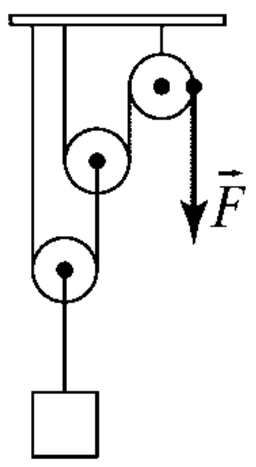


Рис. 151

682. С помощью неподвижного блока груз массой $m = 0{,}18$ кг подняли вверх. При этом к свободному концу нити, переброшенной через блок, прилагали силу, модуль которой $F = 2{,}0$ Н. Определите КПД неподвижного блока.

683. С помощью неподвижного блока груз равномерно подняли вверх, выполнив полезную работу $A_1 = 14{,}7$ Дж. Определите совершенную работу, если КПД неподвижного блока $\eta = 84{,}0$ %.

© MICHAEL GAUTIER

684. С помощью неподвижного блока груз подняли вверх. При этом к свободному концу нити, переброшенной через блок, прилагали силу $F = 80$ Н. Определите КПД неподвижного блока. Известно, что груз при подъеме имел скорость, модуль которой $v = 3{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, и обладал кинетической энергией $E_{\text{к}} = 27$ Дж.

685. На какую высоту с помощью подвижного блока массой $m_1 = 5$ кг был равномерно поднят груз массой $m_2 = 95$ кг, если при этом совершена работа $A = 200$ Дж? Чему равен КПД блока? Силами сопротивления пренебречь.

686. Ящик с гвоздями, масса которого $m = 54$ кг, поднимают на пятый этаж строящегося дома при помощи подвижного блока, действуя на трос силой, модуль которой $F = 0{,}36$ кН. Определите КПД подвижного блока.

687. С помощью подвижного блока равномерно подняли груз массой $m = 8{,}0$ кг на некоторую высоту. Определите модуль силы, приложенной к свободному концу веревки, если КПД блока $\eta = 80\ \%$.

688. Шар, объем которого $V = 50\ \text{см}^3$, поднимали вверх равномерно с помощью подвижного блока, действуя на свободный конец нити силой $\vec{F}$ ($F = 2{,}0$ Н). Плотность вещества шара $\rho = 4{,}0\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Определите КПД подвижного блока.

689. Груз массой $m = 1{,}2$ кг равномерно переместили от основания наклонной плоскости длиной $l = 80$ см и высотой $h = 27$ см к ее вершине. При перемещении груза сила тяги была направлена параллельно наклонной плоскости. Модуль этой силы $F = 5{,}4$ Н. Определите КПД наклонной плоскости.

690. При равномерном перемещении бруска по наклонной плоскости модуль силы тяги, действующей вдоль наклонной плоскости, $F = 25$ Н. Определите длину наклонной плоскости, если ее высота $h = 20$ см, КПД $\eta = 40\ \%$, масса бруска $m = 4{,}0$ кг.

691. По наклонной доске снизу вверх равномерно перемещают брусок, прикладывая к нему силу тяги, направленную вдоль наклонной плоскости. Длина наклонной плоскости в $n = 1{,}6$ раза больше ее высоты, а модуль силы тяги в $k = 1{,}2$ раза меньше модуля силы тяжести бруска. Определите КПД наклонной плоскости.

© MICHAEL GAUTIER

692. При равномерном перемещении бруска по наклонной плоскости модуль силы тяжести был в $n = 1{,}6$ раза больше модуля силы тяги, действующей на брусок. Определите длину наклонной плоскости, если ее высота $h = 25$ см, КПД $\eta = 40$ %. Сила тяги направлена вдоль наклонной плоскости.

693. При равномерном перемещении кубика, длина ребра которого $a = 20$ см, по наклонной плоскости динамометр, прикрепленный к кубику, показал силу, модуль которой $F = 16$ Н. Определите высоту наклонной плоскости, если ее КПД $\eta = 64$ %, длина $l = 2{,}5$ м. Плотность вещества кубика $\rho = 0{,}80 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

694. Ящик равномерно тянули вверх по наклонной плоскости длиной $l = 4{,}0$ м и высотой $h = 1{,}8$ м, прикладывая к нему силу, модуль которой $F = 1{,}0$ кН. Определите модуль веса ящика, если КПД наклонной плоскости $\eta = 63$ %. Сила $\vec{F}$ направлена вдоль наклонной плоскости.

695. При равномерном перемещении однородного стеклянного бруска по наклонной плоскости динамометр, прикрепленный к бруску, показывал значение модуля силы $F = 5{,}0$ Н. Определите высоту наклонной плоскости, если ее КПД $\eta = 50$ %, длина $l = 0{,}93$ м. Объем бруска $V = 0{,}30$ дм^3.

696. Брусок равномерно переместили от основания наклонной плоскости к ее вершине за время $t = 3{,}2$ с. Брусок перемещали со скоростью, модуль которой $v = 25 \frac{\text{см}}{\text{с}}$, при этом он обладал кинетической энергией $E_к = 60$ мДж. Высота наклонной плоскости $h = 40$ см. При перемещении бруска сила тяги, модуль которой $F = 16$ Н, была направлена вдоль наклонной плоскости. Определите КПД наклонной плоскости.

697. Для подъема груза в кузов грузового автомобиля на высоту $h = 15$ дм использовали доску длиной $l = 3{,}0$ м как наклонную плоскость. Груз перемещали равномерно, прикладывая параллельно плоскости доски силу, модуль которой $F = 1{,}5$ кН. Определите КПД наклонной плоскости. Известно, что если груз поднять на высоту $h_1 = 45$ см, то его потенциальная энергия увеличится на $\Delta E_п = 0{,}84$ кДж.

© MICHAEL GAUTIER

698. Брусок равномерно переместили от основания наклонной плоскости к ее вершине за время $t = 3{,}2$ с. Модуль скорости перемещения бруска $v = 25\,\frac{\text{см}}{\text{с}}$. Высота наклонной плоскости $h = 27$ см. При перемещении на брусок действовала сила тяги, модуль которой $F = 5{,}4$ Н, направленная вдоль наклонной плоскости. Определите вес бруска, если КПД наклонной плоскости $\eta = 75\ \%$.

699. Два однородных шара радиусом $R = 3$ см каждый касаются друг друга. На каком расстоянии от точки касания находится центр тяжести системы, если масса одного шара вдвое больше массы другого?

700. Медный и алюминиевый шары радиусом $R = 5{,}8$ мм каждый соединены в точке касания. На каком расстоянии от центра медного шара находится центр тяжести системы?

701. Два однородных цилиндра соединены между собой так, что их оси лежат на одной линии. Масса первого цилиндра $m_1 = 3{,}0$ кг, его длина $l_1 = 50$ см. Масса второго $m_2 = 1{,}0$ кг, его длина $l_2 = 30$ см. На каком расстоянии от центра первого цилиндра находится центр тяжести системы?

702. Однородные шары массами $m_1 = m$, $m_2 = 5m$, $m_3 = 7m$, $m_4 = 3m$ закреплены на невесомом стержне (рис. 152). Расстояние между их центрами одинаково и составляет $l = 20$ см. На каком расстоянии от центра третьего шара находится центр тяжести всей системы?

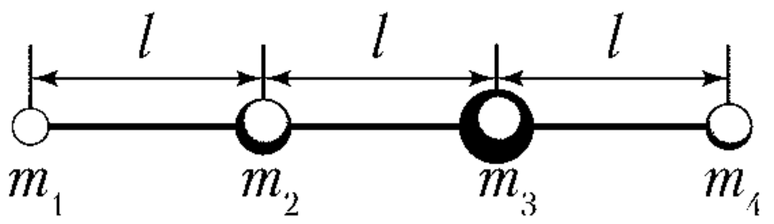


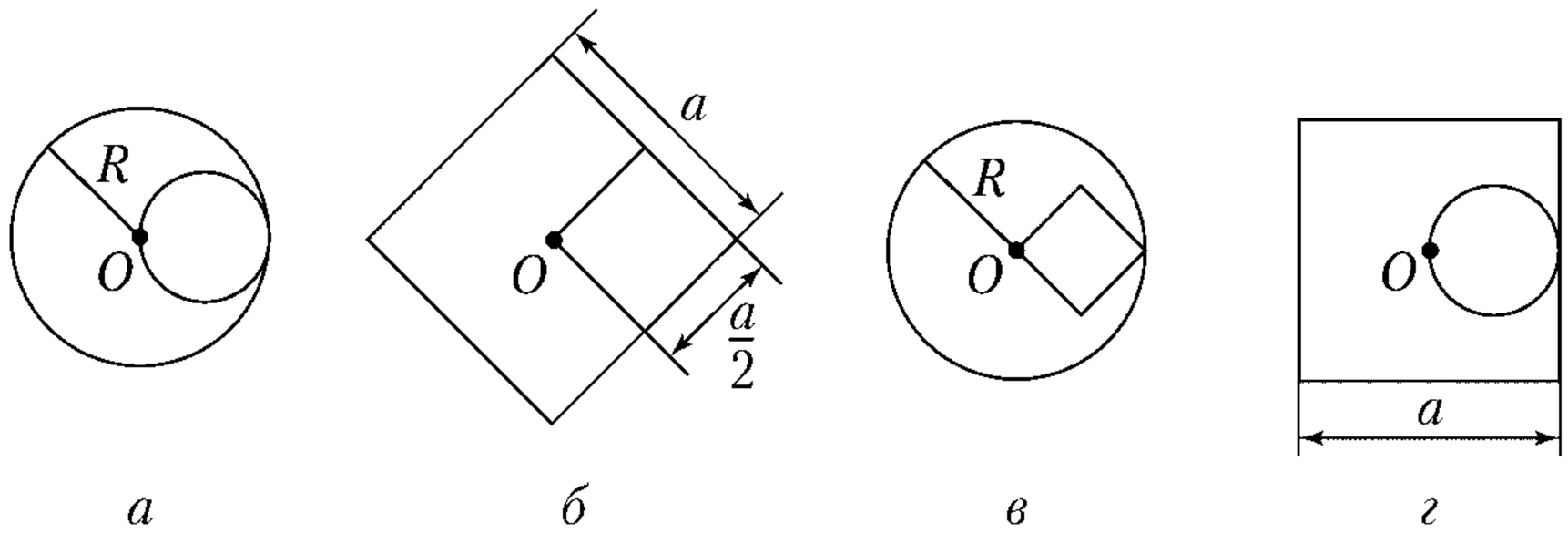
Рис. 152

703. В однородном шаре радиусом $R = 28$ см имеется шарообразная полость вдвое меньшего радиуса, касающаяся поверхности шара. На каком расстоянии от центра сплошного шара находится центр тяжести шара с вырезом?

704. Из однородной пластинки вырезано отверстие (рис. 153, *а–г*). Определите расстояние от центра O сплошной пластинки до центра тяжести пластинки с вырезом, если: а) из круга радиусом R вырезано круглое отверстие радиусом $\frac{R}{2}$; б) из квадратной пластинки со стороной a вырезан квадрат со стороной $\frac{a}{2}$; в) из круга ради-

© MICHAEL GAUTIER

усом R вырезан квадрат, диагональ которого равна R; г) из квадрата со стороной a вырезан круг радиусом $\frac{a}{4}$.



а *б* *в* *г*

Рис. 153

705. На диаграмме (рис. 154) представлено процентное соотношение объемов трех металлических цилиндров равного поперечного сечения: стального, алюминиевого и латунного. Цилиндры соединены основаниями последовательно друг за другом, причем алюминиевый находится между двумя другими. На каком расстоянии от центра алюминиевого цилиндра находится центр масс всей системы, если суммарная длина трех стержней $l_0 = 90$ см?

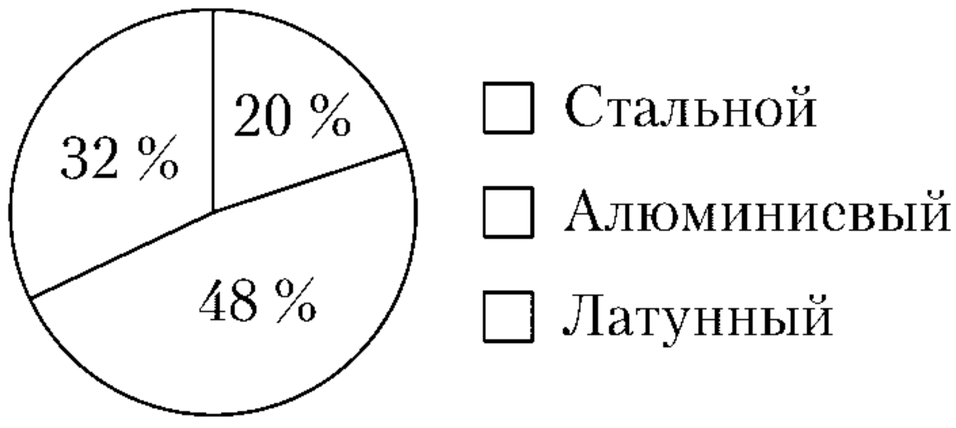


Рис. 154

706. (э) Имея баночки от йогурта, карандаш и жгут, изготовьте равноплечие весы. С помощью мерного стакана отмерьте одинаковые объемы кипяченой воды, соленой воды и подсолнечного масла. Оцените, используя весы, какая из жидкостей имеет бóльшую плотность.

Оборудование: две пластиковые баночки, карандаш, жгут, стаканы с кипяченой водой, соленой водой и подсолнечным маслом.

707. (э) Экспериментально определите центр тяжести картонной пластинки.

Оборудование: нить ($l = 40$ см), пластинка, карандаш, линейка.

© MICHAEL GAUTIER

19

Действие жидкости и газа на погруженное в них тело. Закон Архимеда. Условия плавания тел

Физический закон и условия плавания тел	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Закон Архимеда	$F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{погр}} = m_{\text{ж}} g$	$F_{\text{выт}}$ — модуль выталкивающей силы, действующей на погруженное в жидкость (газ) тело; $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости (газа); $V_{\text{погр}}$ — объем погруженного тела (части тела); $m_{\text{ж}}$ — масса жидкости (газа), вытесненная телом при погружении; g — модуль ускорения свободного падения
Условия плавания тел	Тело утонет: $\langle \rho_{\text{т}} \rangle > \rho_{\text{ж}}$; тело находится в равновесии внутри жидкости (газа): $\langle \rho_{\text{т}} \rangle = \rho_{\text{ж}}$; тело находится в состоянии равновесия, частично погрузившись в жидкость: $\langle \rho_{\text{т}} \rangle < \rho_{\text{ж}}$	$\langle \rho_{\text{т}} \rangle$ — средняя плотность тела; $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости (газа)

© MICHAEL GAUTIER

708. Железный брусок тонет в воде, а деревянный брусок такого же объема плавает, частично погрузившись в воду. На какой из брусков действует большая выталкивающая сила?

709. Пластмассовый кубик с внутренней полостью плавает в пресной воде, полностью погрузившись в нее. Потонет или будет плавать кубик в: а) керосине; б) соленой воде; в) спирте?

710. Железный шарик сначала полностью погрузили в керосин, а затем — в воду. Одинаковая ли сила Архимеда действовала на шарик?

711. Железный и свинцовый шарики равной массы полностью погружены в воду. Одинаковая ли сила Архимеда действует на шарики?

712. Стеклянный и железный шарики равного объема полностью погружены в бензин. Одинаковая ли сила Архимеда действует на шарики?

713. Кусок пенопласта плавает в бензине, частично погрузившись в него. Изменится ли погруженный объем этого куска пенопласта, если его опустить в сосуд с керосином?

714. Почему нельзя тушить горящий керосин, заливая его водой?

715. Одинаковая ли сила потребуется для того, чтобы удержать пустое ведро в воздухе и ведро, наполненное водой, в воде?

716. В сосуде с водой плавает кусок льда с вмерзшим в него камешком. Изменится ли уровень воды в сосуде, когда лед растает?

717. В сосуде с водой плавает кусок льда, в котором имеется полость, заполненная воздухом. Изменится ли уровень воды в сосуде, когда лед растает?

718. В озере плавает полый пластмассовый куб. Равна ли выталкивающая сила весу вытесненного объема воды?

719. Определите модуль выталкивающей силы, действующей на батискаф объемом $V = 60$ м^3 при его полном погружении в морскую воду.

720. На кусок алюминия, полностью погруженный в керосин, действует выталкивающая сила, модуль которой $F_A = 120$ Н. Определите объем куска алюминия.

© MICHAEL GAUTIER

721. Определите модуль силы Архимеда, действующей на кусок мрамора массой $m = 2{,}16$ кг, полностью погруженный в воду.

722. Груз массой $m = 200$ г, подвешенный к пружине динамометра, опускают в воду. Определите показания динамометра после полного погружения груза в воду, если модуль силы Архимеда, действующей на груз, $F_A = 1{,}3$ Н.

723. Цилиндр массой $m = 0{,}50$ кг подвешен к пружине динамометра. При полном погружении цилиндра в воду показания динамометра уменьшаются на $|\Delta F| = 2{,}0$ Н. Определите: а) плотность вещества, из которого изготовлен цилиндр; б) показания динамометра после погружения цилиндра в воду.

724. Определите массу однородного чугунного шара, наполовину погруженного в керосин, если модуль силы Архимеда, действующей на шар, $F_A = 0{,}80$ Н.

725. Железобетонную плиту массой m, находящуюся в реке, с помощью троса медленно поднимают до поверхности воды. Определите удлинение троса жесткостью k, если плотность железобетона ρ_1, плотность воды ρ_2. Массой, объемом троса и сопротивлением воды пренебречь.

726. Груз массой $m = 800$ г и объемом $V = 500$ см^3 подвешен к динамометру и погружен в воду. Определите показания динамометра.

727. Чугунную деталь массой $m = 0{,}42$ кг подвесили к невесомой пружине жесткостью $k = 60 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Определите удлинение пружины, если деталь находится в: а) воздухе; б) воде.

728. Определите модуль силы, которую необходимо приложить к куску дерева массой $m = 72$ г, чтобы удержать его под водой. Плотность древесины $\rho_д = 0{,}75 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

729. К пробковому поплавку массой $m_1 = 102$ г на тонкой невесомой нити привязан алюминиевый груз. Поплавок с грузом находится в воде, целиком погрузившись в нее. Определите массу груза.

730. Плоская льдина, площадь основания которой $S = 4{,}0$ м^2, может удержать на плаву тюленя максимальной массой $m = 60$ кг. Определите толщину льдины.

© MICHAEL GAUTIER

731. Объем надводной части плавающего в море айсберга $V = 500$ м^3. Определите массу айсберга. Плотность воды $\rho = 1{,}00 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

732. Плоская льдина плавает, выступая над водой на высоту $h = 2{,}0$ см. Определите массу льдины, если площадь ее основания $S = 2{,}0$ дм^2.

733. Определите объем надводной части льдины, плавающей в воде, если объем всей льдины $V_0 = 17$ м^3.

734. На дне сосуда с водой лежит, полностью погрузившись в нее, алюминиевый шар массой $m = 5{,}4$ кг. Определите модуль силы, с которой шар действует на дно сосуда.

735. Парафиновый шар, модуль веса которого $P = 4{,}5$ Н, лежит на дне сосуда с водой. Определите модуль силы давления шара на дно сосуда, если шар наполовину погружен в воду.

736. В сосуде с водой плавает цилиндрическая тонкостенная пробирка, в которой находится сироп. При этом глубина погружения пробирки в воду $h_1 = 9{,}1$ см. После того как в пробирку еще добавили сироп объемом $V_1 = 5{,}1$ мл, глубина погружения пробирки в воду стала $h_2 = 10{,}8$ см. Определите плотность сиропа, если площадь поперечного сечения пробирки $S = 3{,}6$ см^2.

737. Определите модуль силы Архимеда, действующей на полностью погруженный в воду полый стальной шар массой $m = 780$ г, если объем полости $V_\text{п} = 70{,}0$ см^3.

738. На льдине, плавающей в воде, лежит морж массой $m = 1{,}4$ т. Определите объем части льдины, которая погружена в воду, если объем всей льдины $V = 34$ м^3.

739. Плот собран из $N = 20$ цилиндрических бревен длиной $l = 4{,}0$ м и площадью поперечного сечения $S = 300$ см^2 каждое. Определите максимальную массу груза, который можно перевозить на этом плоту, не замочив груза. Плотность древесины $\rho_\text{д} = 0{,}60 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

740. Понтон массой $m_1 = 800$ кг имеет длину $l = 4{,}0$ м, ширину $a = 2{,}0$ м, высоту $h_1 = 70$ см. Определите наибольшую массу груза, который можно погрузить на понтон, если высота его бортов над ватерлинией $h_2 = 20$ см.

© MICHAEL GAUTIER

741. Сколько пассажиров средней массой $\langle m \rangle = 70$ кг каждый может выдержать шлюпка массой $m_0 = 450$ кг не затонув, если при предельном погружении шлюпки в воду ею вытесняется объем воды $V = 1{,}5$ м^3?

742. Прямоугольная баржа длиной $l = 5{,}0$ м и шириной $a = 3{,}0$ м после загрузки осела на $\Delta h = 50$ см. Определите модуль веса груза, который загрузили на баржу.

743. Пластиковый понтон, состоящий из $N = 100$ модулей размером $50 \times 50 \times 40$ см и массой $m = 7{,}5$ кг каждый, плавает в воде. На понтоне находятся туристы общей массой $m_{\text{тур}} = 1{,}15$ т. Определите объем понтона, находящегося над поверхностью воды.

744. Однородный шарик массой $m = 10$ г всплывает вертикально вверх с постоянной скоростью в жидкости, плотность которой в $n = 4$ раза больше плотности вещества шарика. Определите модуль силы сопротивления жидкости, действующей на шарик.

745. Стеклянная бутылка массой $m = 600$ г плавает, частично погрузившись в воду. Определите вместимость бутылки, если $\varepsilon = 20\ \%$ объема бутылки находится в воздухе.

746. Пустая стеклянная бутылка емкостью $V = 500$ см^3 и массой $m = 450$ г плавает в воде. Определите минимальный объем воды, которую надо налить в бутылку, чтобы она утонула. Плотность стекла $\rho_c = 2{,}25\ \dfrac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

747. Два однородных шара объемом $V = 50$ см^3 каждый связаны тонкой легкой нитью и погружены в воду. Верхний шар погружен в воду на $\varepsilon = 80\ \%$ своего объема. Нижний шар полностью погружен в воду. Определите модуль силы натяжения нити, если отношение плотностей вещества шаров $\dfrac{\rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{в}}} = 9{,}0$.

748. Два однородных шара объемом $V = 100$ см^3 каждый связаны невесомой тонкой нитью и погружены в жидкость, причем верхний шар плавает, наполовину погрузившись в жидкость. Массы шаров различаются в 3 раза. Определите плотность жидкости, если модуль силы натяжения нити $F = 0{,}10$ Н.

© MICHAEL GAUTIER

749. Тонкостенная пробирка, в которой налито $V_1 = 70$ см^3 бензина, плавает в воде. Определите массу пустой пробирки, если поверхности воды и бензина находятся на одном уровне. Плотность бензина $\rho_1 = 700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

750. Металлический полый шар плавает в воде, погрузившись в нее наполовину. Определите массу шара, если объем полости $V = 15$ дм^3. Плотность металла $\rho = 8{,}0 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

751. В вертикальном цилиндрическом сосуде с водой плавал лед с вмерзшим в него куском металла. После таяния льда уровень воды в сосуде понизился на $|\Delta h| = 5{,}0$ мм. Определите массу куска металла, если площадь дна сосуда $S = 1{,}10$ дм^2. Плотность металла $\rho = 12 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

752. Металлическую гирю, прикрепленную к динамометру, медленно погрузили в цилиндрический сосуд с водой. Определите площадь дна сосуда, если после полного погружения гири уровень воды в сосуде повысился на $\Delta h = 20$ см, а показания динамометра уменьшились от $F_1 = 4{,}0$ Н до $F_2 = 3{,}0$ Н.

753. Полый пластилиновый шар плавает в воде, погрузившись на $\varepsilon = 70$ % своего объема. Плотность пластилина $\rho_{\text{п}} = 2{,}5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Определите объем полости, если полный объем шара $V_0 = 1{,}0$ дм^3.

754. Плавающий в ртути цилиндр объемом $V = 11{,}0$ дм^3 погружен в нее на четверть своего объема. Поверх ртути стали наливать жидкость, плотность которой меньше плотности ртути. Когда цилиндр оказался полностью погружен в жидкость, его объем, погруженный в ртуть, стал $V_1 = 2{,}0$ дм^3. Определите, во сколько раз плотность ртути больше плотности жидкости.

755. Один конец невесомой нити закреплен на дне сосуда с водой, а второй — прикреплен к пробковому поплавку. При этом $\varepsilon = 75$ % объема поплавка погружено в воду. Определите модуль силы натяжения нити, если масса поплавка $m = 0{,}20$ кг. Плотности воды $\rho_{\text{в}} = 1{,}0 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, пробки $\rho_{\text{п}} = 0{,}30 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

© MICHAEL GAUTIER

756. Деревянный шар объемом $V = 1{,}0$ дм^3 удерживается под водой пружиной, нижний конец которой прикреплен к дну сосуда. Определите жесткость пружины, если ее абсолютное удлинение $\Delta l = 10$ см. Плотность дерева $\rho_д = 0{,}80 \frac{г}{см^3}$. Массой и объемом пружины пренебречь.

757. Тонкостенный цилиндрический стакан массой $m = 30$ г, высотой $H = 10$ см и площадью дна $S = 60$ см^2 плавает в сосуде с керосином. В стакан наливают воду. Определите максимальную высоту слоя воды в стакане, при котором он не утонет.

758. Деревянный брусок, плавающий в керосине, погружен в него на $\eta_1 = 95$ % своего объема. На сколько процентов объема будет погружен этот брусок в воде?

759. Однородный деревянный цилиндр плавает в вертикальном положении в сосуде с водой. В сосуд стали доливать жидкость плотностью $\rho_ж$ до тех пор, пока она не образовала над водой слой толщиной $H = 20$ см. При этом верхняя часть цилиндра осталась в воздухе, а часть цилиндра высотой $h = 15$ см вышла из воды. Определите плотность $\rho_ж$.

760. К динамометру на тонкой невесомой нити подвешен стальной шарик. При полном погружении шарика в воду показание динамометра $F_1 = 6{,}80$ Н, а при полном погружении в неизвестную жидкость — $F_2 = 7{,}10$ Н. Определите плотность неизвестной жидкости.

761. Полый алюминиевый шар взвешивают с помощью динамометра, вначале полностью погружая его в воду, затем — в бензин. Показания динамометра соответственно $F_1 = 0{,}24$ Н и $F_2 = 0{,}33$ Н. Определите объем полости в шаре. Плотности алюминия $\rho_а = 2{,}7 \frac{г}{см^3}$, бензина $\rho_б = 0{,}70 \frac{г}{см^3}$.

762. Металлический куб плавает в сосуде, в который налита ртуть и поверх нее — вода. При этом в ртуть куб погружен на четверть своего объема, а в воду — наполовину. Определите плотность металла куба.

763. На дне аквариума в форме параллелепипеда лежит кубик, длина стороны которого $a = 10{,}0$ см. Определите массу кубика, если минимальный объем воды, который нужно налить в аквариум, чтобы

© MICHAEL GAUTIER

кубик находился внутри жидкости, не касаясь дна, $V_{min} = 200$ см^3. Площадь дна аквариума $S_0 = 3{,}00$ дм^2.

764. В цилиндрическом сосуде с площадью дна $S_0 = 10$ см^2 находится вода, высота столба которой $h_0 = 1{,}8$ см. На поверхность воды кладут деревянный однородный кубик, на него — второй и т. д. Какое минимальное количество кубиков надо положить друг на друга, чтобы нижний кубик образовавшегося столбика коснулся дна сосуда? Длина ребра каждого кубика $a = 10$ мм. Плотности воды $\rho_0 = 1{,}0 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, дерева $\rho = 0{,}40 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Вода из сосуда не выливается.

765. В сосуд с водой и керосином опустили полый шар объемом $V = 16$ см^3. При этом шар плавал, погрузившись наполовину в керосин, а наполовину — в воду. Затем через небольшое отверстие в верхней части оболочки шара в полость начал поступать керосин. После заполнения полости керосином шар стал плавать, полностью погрузившись в воду, не касаясь дна сосуда. Определите объем полости.

766. Брусок толщиной $H = 5{,}0$ см находится в воде, погрузившись в нее на глубину $h_1 = 3{,}5$ см. Какой будет высота выступающей в воздухе части бруска, если поверх воды налить слой керосина толщиной $h_2 = 2{,}0$ см?

767. В вертикальном цилиндрическом сосуде в воде находился деревянный брусок, на котором лежал однородный куб из дюралюминия. Когда куб достали из сосуда, уровень воды в нем понизился на $|\Delta h_1| = 5{,}6$ см. Когда куб опустили на дно сосуда, уровень воды относительно последнего положения поднялся на $\Delta h_2 = 2{,}0$ см. Определите плотность дюралюминия.

768. Два одинаковых шарика связаны невесомой тонкой нитью, перекинутой через легкий неподвижный блок, причем один из шариков погружен в сосуд с жидкостью. Определите модуль установившейся скорости, с которой будут двигаться шарики, если известно, что модуль установившейся скорости падения одного не прикрепленного к нити шарика в той же жидкости равен v_0. Плотность материала шарика ρ, жидкости — $\rho_ж$ ($\rho > \rho_ж$). Сила сопротивления жидкости прямо пропорциональна скорости движения шарика.

© MICHAEL GAUTIER

769. К уравновешенному горизонтальному легкому рычагу на нитях подвешены в воздухе алюминиевый и стальной шары равного объема. Затем шары частично погрузили в воду, при этом равновесие рычага не нарушилось. Сколько процентов составляет объем стального шара, погруженный в воду, если алюминиевый шар на $\varepsilon_1 = 18\,\%$ своего объема погружен в воду? Трением в оси вращения рычага, весом нитей и выталкивающей силой воздуха пренебречь.

770. Однородная деревянная тонкая палочка, шарнирно закрепленная за верхний конец, может свободно вращаться в вертикальной плоскости. Палочка находится в устойчивом равновесии, когда она на $\varepsilon = 40\,\%$ длины погружена в воду. Определите плотность материала палочки.

771. В гладкий цилиндрический стакан высотой $h = 8{,}0$ см и радиусом основания $R = 3{,}0$ см поставили однородную палочку длиной $l = 12{,}0$ см и массой $m = 40$ г. Стакан доверху заполнили водой. Определите модуль силы давления палочки на край стакана. Плотность материала палочки $\rho_2 = 2{,}0\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

772. Два шара разных плотностей и объемов уравновешены на невесомом горизонтальном стержне с отношением плеч 1 : 2. После того как шары полностью погрузили в воду, равновесие стержня нарушилось. Для сохранения равновесия стержня в горизонтальном положении шары пришлось поменять местами. Определите плотность веществ, из которых состоят шары. Известно, что плотность вещества более тяжелого шара в $n = 2{,}5$ раза меньше плотности вещества более легкого шара.

773. (э) Опишите, как, используя однородную длинную линейку с миллиметровыми делениями, нитки и стакан с водой, экспериментально определить плотность вещества, из которого изготовлен ластик. Плотность воды $\rho_в = 1{,}0\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

774. (э) Исследуйте зависимость модуля силы Архимеда, действующей на тело, от глубины его погружения в жидкость. Постройте график этой зависимости. Коэффициент $g = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Оборудование: сосуд с водой, цилиндрическая пробирка, горох, весы с разновесом, скотч, миллиметровая бумага, ножницы, стакан, нить, салфетки.

© MICHAEL GAUTIER

775. (э) Определите плотность пластилина. Плотность воды считать известной.

Оборудование: цилиндрический стакан с водой, кусок пластилина, линейка.

Указание. Чтобы определить плотность пластилина, можно сначала его погрузить в воду так, чтобы он полностью оказался в воде, а затем создать из пластилина фигуру с воздушной полостью внутри такого размера, чтобы пластилин плавал, частично погрузившись в воду.

776. Тонкостенный цилиндрический стакан массой $m = 200$ г вертикально плавает на границе раздела керосина и воды, полностью погруженный в жидкость. Определите глубину погружения стакана в воду, если дно стакана имеет толщину $h = 2{,}0$ см и площадь поперечного сечения $S = 40$ см^2. Стакан заполнен керосином. Толщиной боковых стенок стакана пренебречь.

777. Бетонную плиту массой $m = 500$ кг нужно перевезти на другой берег водоема с помощью плота. Какое минимальное количество бревен потребуется для него, если все бревна одинаковые, а масса одного $m_1 = 25$ кг? Плотности дерева $\rho_д = 0{,}55 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, бетона $\rho_б = 2{,}2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

778. *Любознательный, но забывчивый* ученик проводил опыт по погружению однородного кубика в однородную соленую воду (рис. 155). В таблицу он занес показания динамометра F, соответствующие различным глубинам h погружения кубика. Некоторые значения силы он забыл, поэтому таблица оказалась заполненной частично. По результатам измерений определите отношение плотности соленой воды к плотности материала кубика.

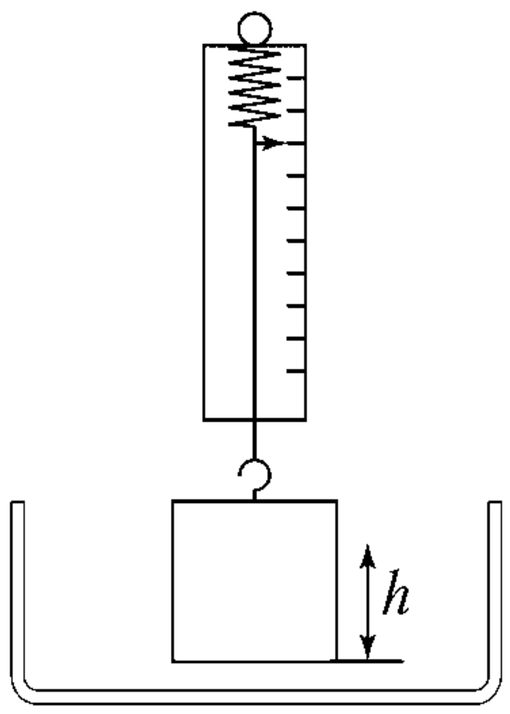


Рис. 155

h, см	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
F, Н	8,10	7,44					4,16	3,50	3,24	3,24

© MICHAEL GAUTIER

779. Пользуясь справочными данными, определите, какие из шариков (пробковый, анилиновый, свинцовый, золотой) (рис. 156) будут плавать в: а) бензине; б) спирте; в) воде; г) ртути. Ответ проверьте с помощью интерактивной модели «Условия плавания тел».

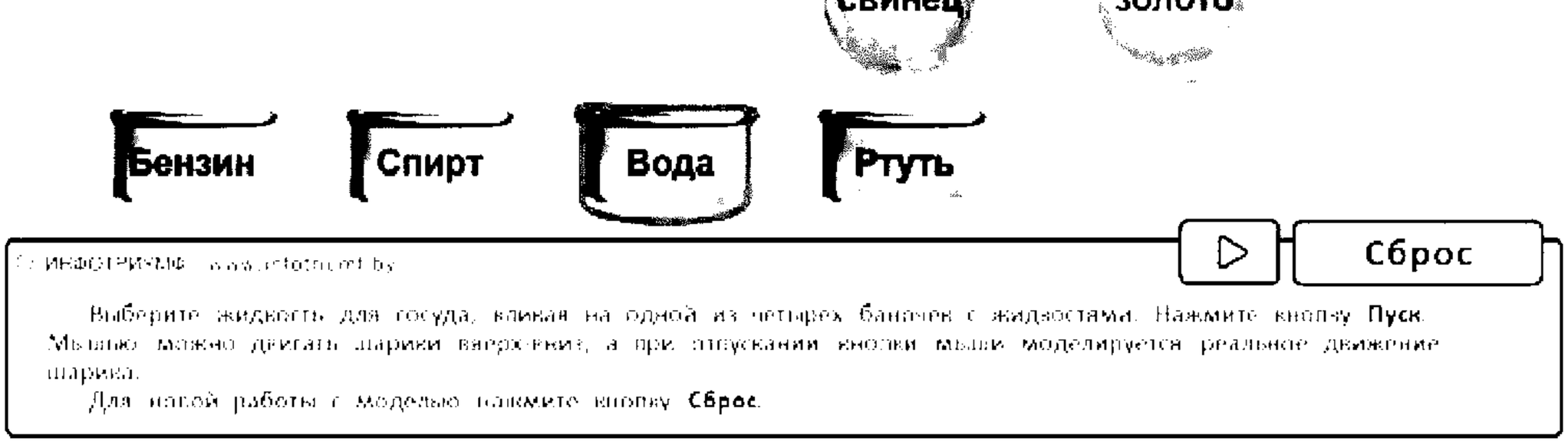


Рис. 156

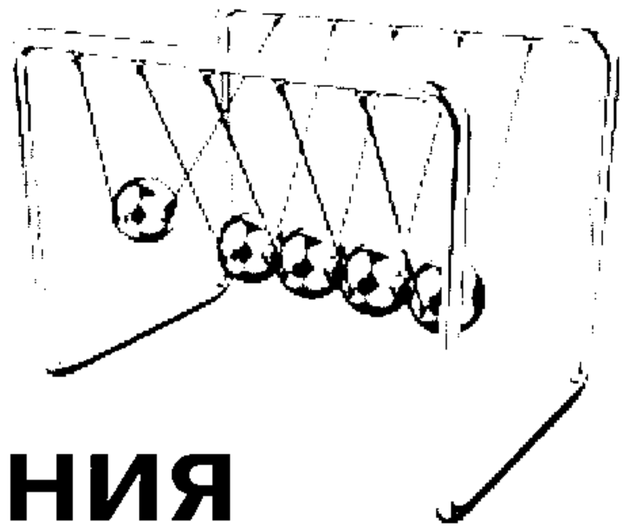
780. (о) Оцените размеры шара-зонда, заполненного гелием. Грузоподъемность шара-зонда $m = 200$ кг.

781. (о) Оцените выталкивающую силу, действующую на вас в вашей квартире.

782. (э) Экспериментально определите емкость стеклянного флакона с притертой стеклянной пробкой, не открывая его.

Оборудование: стеклянный флакон с притертой стеклянной пробкой, сосуд с водой, мензурка, спица, весы с разновесом, нить.

© MICHAEL GAUTIER



4 Законы сохранения

20. Импульс тела

21. Закон сохранения импульса

22. Механическая работа

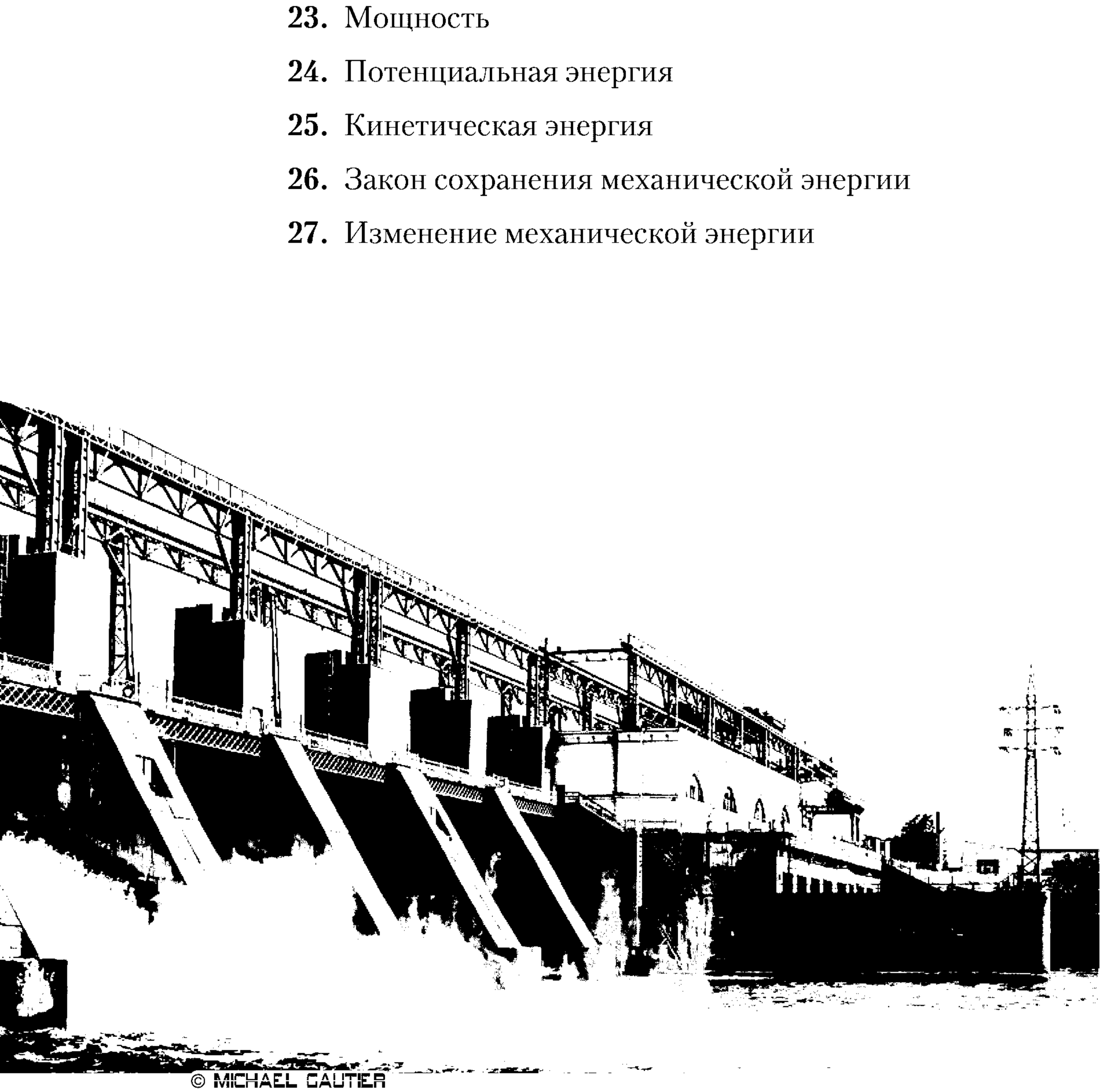
23. Мощность

24. Потенциальная энергия

25. Кинетическая энергия

26. Закон сохранения механической энергии

27. Изменение механической энергии



© MICHAEL GAUTIER

20

Импульс тела

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу или закон
Импульс тела	$\vec{p} = m\vec{v}$	$\vec{p}$ — импульс тела; m — масса тела; $\vec{v}$ — скорость движения тела
Закон изменения импульса тела (системы)	$\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t$	$\Delta\vec{p}$ — изменение импульса тела (системы); $\vec{F}$ — результирующая всех внешних сил, приложенных к телу (системе); Δt — промежуток времени, в течение которого действовала сила $\vec{F}$
Закон сохранения импульса	$\vec{p}_{\text{сист}} = \overrightarrow{\text{const}}$ $\vec{p}_{\text{сист}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + ... + \vec{p}_n$	$\vec{p}_{\text{сист}}$ — импульс механической системы; $\vec{p}_1$, $\vec{p}_2$, ..., $\vec{p}_n$ — соответственно импульсы первого, второго, n-го тел, составляющих механическую систему

783. Могут ли легкая пуля и тяжелый грузовик обладать равными импульсами? Почему?

784. Свинцовый и алюминиевый шарики равного объема движутся с одинаковыми скоростями. Равны ли их импульсы?

785. Камень для керлинга скользит со скоростью, модуль которой $v = 60\ \frac{\text{см}}{\text{с}}$. Определите модуль импульса камня, если его масса $m = 20$ кг.

© MICHAEL GAUTIER

786. Модуль импульса снежинки $p = 1{,}6 \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. Определите ее массу, если модуль скорости движения снежинки $v = 50\ \frac{\text{см}}{\text{с}}$.

787. Модуль импульса Земли, движущейся вокруг Солнца, $p = 1{,}8 \cdot 10^{29}\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль скорости ее движения, если масса Земли $m = 6{,}0 \cdot 10^{24}$ кг.

788. Определите модуль импульса пакета с молоком массой $m =$ $= 550$ г, лежащего на ленте равномерно движущегося транспортера, если за время $t = 20$ с модуль перемещения пакета составил $\Delta r = 12$ м.

789. Льдина, плывущая по реке, обладает импульсом, модуль которого $p = 90\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль скорости движения льдины, если ее объем $V = 0{,}20\ \text{м}^3$.

790. Стальной шарик объемом $V = 5{,}0\ \text{см}^3$ подвешен на нити и равномерно вращается в горизонтальной плоскости по окружности радиусом $R = 10$ см с угловой скоростью $\omega = 2{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Определите модуль импульса шарика.

791. Зависимость проекции скорости стрелы, летящей вдоль оси Oy, от времени имеет вид: $v_y = A + Bt$, где $A = 53\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $B = -9{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите проекцию импульса стрелы в момент времени $t = 4{,}0$ с. Масса стрелы $m = 50$ г.

792. На рисунке 157 представлен график зависимости проекции скорости движения дрона массой $m = 0{,}1$ кг, летящего прямолинейно вдоль оси Ox, от времени. Определите проекции импульса дрона на ось Ox в моменты времени $t_1 = 6$ с и $t_2 = 24$ с.

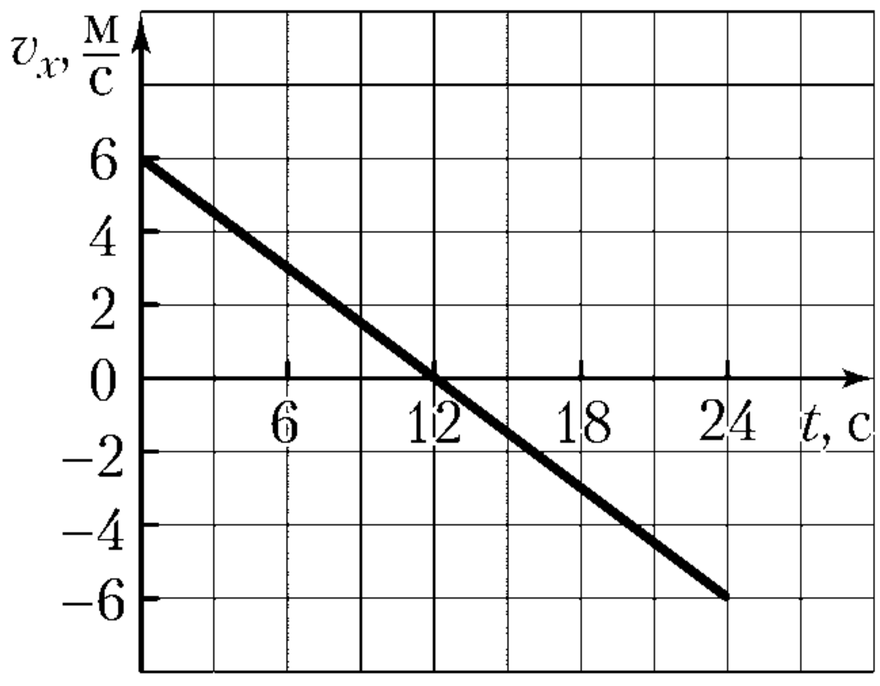


Рис. 157

© MICHAEL GAUTIER

793. На рисунке 158 представлен график зависимости проекции импульса футбольного судьи, движущегося вдоль оси Ox, от времени. Во сколько раз отличаются модули скорости движения судьи в моменты времени $t_1 = 1$ с и $t_2 = 5$ с, если масса судьи $m = 72$ кг? Можно ли решить задачу, не используя массу судьи?

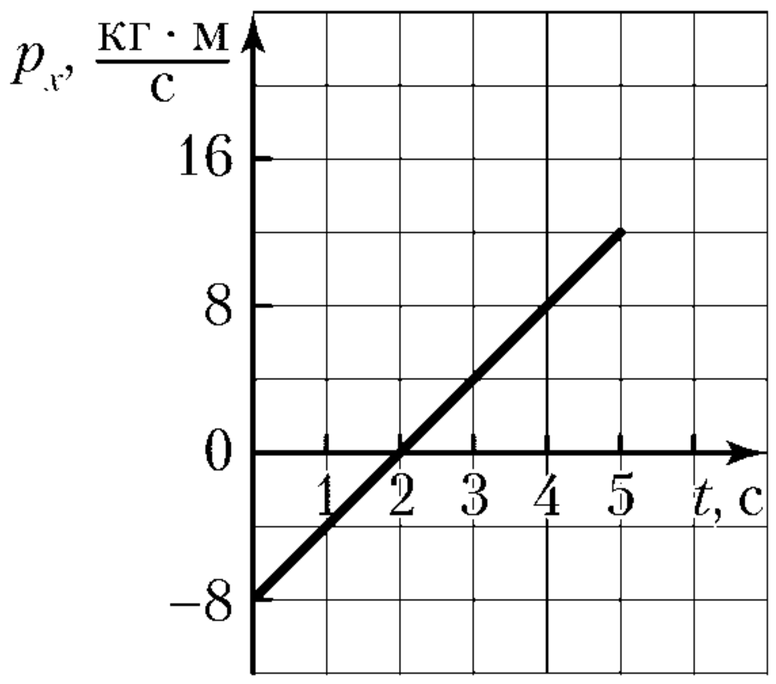


Рис. 158

794. Координата шарика, движущегося вдоль оси Ox, зависит от времени по закону $x = A + Bt + Ct^2$, где $A = 4{,}0$ м, $B = 1{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C = -0{,}50 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите проекции на ось Ox импульса шарика в моменты времени $t_0 = 0{,}0$ и $t = 2{,}0$ с, если масса шарика $m = 0{,}20$ кг.

795. Гоночный автомобиль движется вдоль оси Ox. Зависимость его координаты от времени определяется уравнением $x = A + Bt + Ct^2$, где $A = 20$ м, $B = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C = 5{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Во сколько раз различаются модули импульса автомобиля в те моменты времени, когда он находится в точках с координатами $x_1 = 35$ м и $x_2 = 95$ м?

796. На рисунке 159 представлен график зависимости проекции ускорения мяча, движущегося вдоль оси Ox, от времени. Определите проекцию импульса мяча в момент времени $t = 3$ с, если масса мяча $m = 0{,}2$ кг. Проекция начальной скорости мяча $v_{0x} = -1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

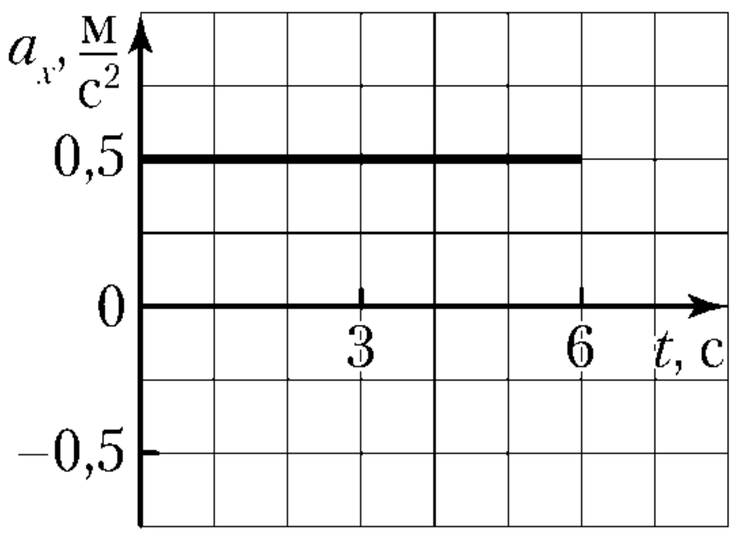


Рис. 159

797. Два шарика массой $m = 150$ г каждый брошены из одной точки со скоростями, модули которых равны: один — вертикально вверх, другой — вертикально вниз. Они упали на поверхность земли с интервалом времени $\Delta t = 4{,}0$ с. Определите модуль импульса одного из шариков в момент бросания. Сопротивлением воздуха пренебречь.

© MICHAEL GAUTIER

798. Может ли импульс птицы, летящей с некоторой скоростью, быть равным нулю?

799. Рыбак на лодке общей массой $m = 95$ кг пересекает реку, двигаясь перпендикулярно берегу. Модуль скорости движения лодки относительно воды $v_0 = 1{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, модуль скорости течения воды $v_1 = 60\,\frac{\text{см}}{\text{с}}$. Определите модули импульса рыбака с лодкой относительно воды и относительно берега.

800. Шары массами $m_1 = 1{,}0$ кг и $m_2 = 2{,}0$ кг движутся по горизонтальной поверхности со скоростями, модули которых $v_1 = 0{,}60\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $v_2 = 1{,}2\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль суммарного импульса этих шаров, если направления их движений: а) совпадают; б) противоположны; в) взаимно перпендикулярны.

801. Искусственный спутник движется вокруг Земли по круговой орбите. Изменяется ли импульс спутника?

802. Шарик массой $m = 0{,}1$ кг упал на горизонтальную плиту, имея в момент падения скорость, модуль которой $v = 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль изменения импульса шарика за время удара, если удар был: а) абсолютно неупругим; б) абсолютно упругим.

803. Мяч массой $m = 400$ г свободно падает без начальной скорости с высоты $h = 5{,}0$ м на горизонтальную плиту и отскакивает от нее со скоростью, модуль которой $v = 5{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль изменения импульса мяча при ударе.

804. Девочка массой $m = 20$ кг катается на карусели, двигаясь по окружности со скоростью, модуль которой $v = 2{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль изменения импульса девочки после того, как карусель повернется на: а) половину окружности; б) шестую часть окружности.

© MICHAEL GAUTIER

805. Шарик массой $m = 0{,}2$ кг, привязанный к нити, движется по окружности. В некоторой точке траектории модуль скорости движения шарика $v_1 = 0{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а после прохождения четверти окружности модуль скорости движения $v_2 = 0{,}3\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль изменения импульса шарика.

806. Резиновый шарик массой $m = 40$ г летел со скоростью, модуль которой $v_0 = 0{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. После удара о вертикальную стенку он отскочил со скоростью, модуль которой $v = 0{,}3\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, под углом $\alpha = 90°$ к прежнему направлению. Определите модуль изменения импульса шарика при ударе.

807. Мячик массой $m = 200$ г летел со скоростью, модуль которой $v_0 = 2{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. После удара о вертикальную стенку он отскочил со скоростью, модуль которой $v = 1{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, под углом $\alpha = 120°$ к прежнему направлению. Определите модуль изменения импульса мячика при ударе.

808. Теннисный шарик массой $m = 2{,}5$ г, летящий горизонтально со скоростью, модуль которой $v_0 = 16\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, ударяется о наклоненную неподвижную ракетку. В результате упругого удара шарик отскакивает вверх под углом $\alpha = 60°$ к прежнему направлению. Определите модуль изменения импульса шарика при ударе.

809. Брусок массой $m = 0{,}25$ кг движется вдоль оси Ox. На рисунке 160 изображен график зависимости проекции импульса бруска от времени. Определите модуль изменения импульса бруска за время $t = 8$ с и модуль его ускорения.

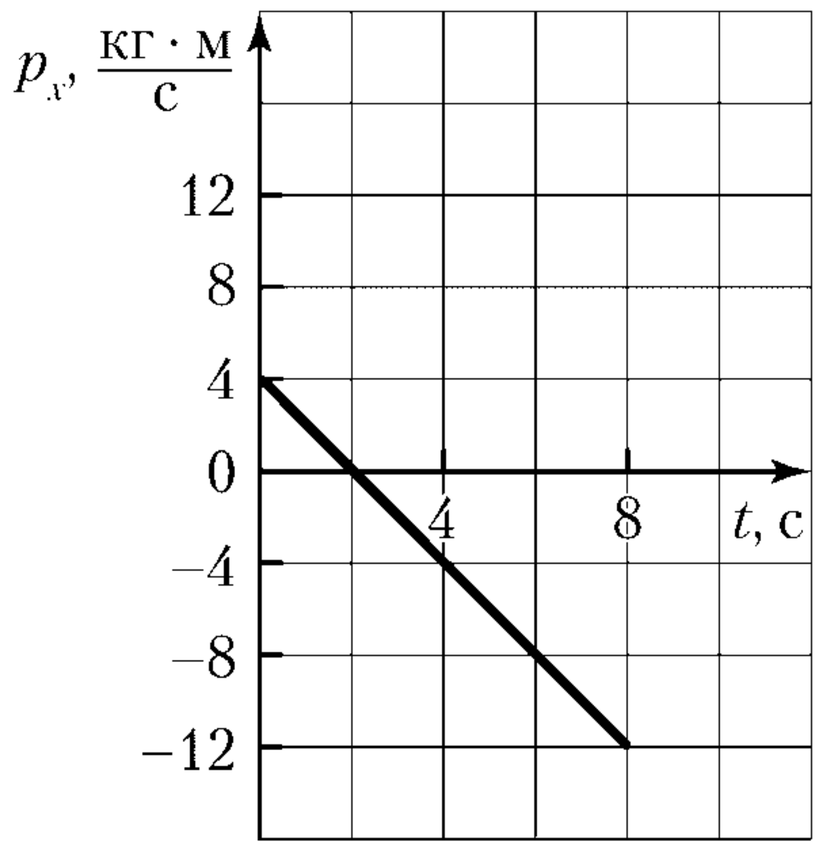


Рис. 160

810. Шарик массой $m = 0{,}20$ кг бросили горизонтально с высоты $h = 20$ м. Определите модуль изменения импульса шарика за время полета. Сопротивлением воздуха пренебречь.

© MICHAEL GAUTIER

811. Почему ребенок может бежать по тонкому льду замерзшей лужи и не может стоять на нем, не проваливаясь?

812. Чтобы поймать рыбу, пеликаны складывают крылья и «камнем» падают вниз. Определите модуль импульса силы тяжести, если пеликан массой $m = 9{,}0$ кг летел до поверхности воды в течение времени $t = 0{,}80$ с.

813. Из орудия вылетает снаряд, модуль скорости которого $v_0 = 600 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите массу снаряда, если модуль средней равнодействующей сил, приложенных к снаряду, $\langle F \rangle = 2{,}7 \cdot 10^6$ Н. Снаряд внутри ствола движется в течение времени $t = 2{,}0 \cdot 10^{-3}$ с.

814. Мяч массой $m = 0{,}20$ кг упруго ударяется о вертикальную стенку под углом $\alpha = 30°$ к ней. Определите модуль средней силы нормальной реакции стены, действующей на мяч во время удара, если продолжительность удара $\Delta t = 0{,}10$ с, а модуль скорости мяча до и после удара $v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

815. Резиновый шарик массой $m = 0{,}10$ кг падает на горизонтальную плоскость с высоты $h = 0{,}20$ м и отскакивает после удара снова на высоту h. Определите модуль средней силы давления шарика на плоскость при ударе, если его длительность $\Delta t = 0{,}040$ с. Сопротивлением воздуха пренебречь.

816. Мячик массой $m = 0{,}50$ кг отскакивает от пола, имея перед ударом скорость, модуль которой $v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, направленную под углом $\alpha = 60°$ к вертикали. Определите модуль средней силы взаимодействия мяча с полом, если длительность удара $\Delta t = 0{,}10$ с. Удар считать абсолютно упругим.

817. Брусок массой $m = 2$ кг движется вдоль оси Ox под действием сил, равнодействующая которых совпадает по направлению с осью Ox. Проекция на ось Ox начальной скорости бруска $v_{0x} = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Модуль равнодействующей силы $F = 6$ Н. Запишите закон зависимости проекции импульса бруска от времени.

© MICHAEL GAUTIER

818. Тележка массой $m = 20$ кг движется вдоль оси Ox. Проекция импульса тележки на ось Ox изменяется по закону $p_x = A + Bt$, где $A = 6 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$, $B = -8$ Н. Определите модуль ускорения тележки. Постройте график зависимости проекции скорости движения тележки от времени.

819. Зависимость от времени проекции импульса бруска массой $m = 2{,}0$ кг, движущегося вдоль оси Ox, задана уравнением $p_x = A + Bt$, где $A = 2{,}0 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$, $B = 6{,}0$ Н. Определите модуль изменения импульса бруска за промежуток времени, в течение которого модуль перемещения бруска составил $\Delta r = 28$ м.

820. Координата самоката, движущегося вдоль оси Ox, изменяется по закону $x = A_1 + B_1 t + C_1 t^2$, где $A_1 = -6{,}0$ м, $B_1 = 3{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C_1 = -0{,}25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, а проекция импульса — по закону $p_x = A_2 + B_2 t$, где $A_2 = 12 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$, $B_2 = -2{,}0$ Н. Определите массу самоката и модуль равнодействующей сил, действующих на самокат.

821. Две частицы массами m и $2m$ летят со скоростями, модули которых соответственно v и $2v$. Причем скорости частиц взаимно перпендикулярны. На частицы в течение некоторого промежутка времени действуют одинаковые силы. К моменту прекращения действия сил первая частица начинает двигаться в обратном направлении со скоростью, модуль которой равен $2v$. Определите модуль скорости, с которой будет двигаться вторая частица.

21

Закон сохранения импульса

822. Шар массой $m_1 = 0{,}2$ кг, движущийся со скоростью, модуль которой $v_1 = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, догоняет шар массой $m_2 = 0{,}6$ кг, движущийся в том же направлении со скоростью, модуль которой $v_2 = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, и аб-

© MICHAEL GAUTIER

солютно неупруго сталкивается с ним. Определите модуль скорости движения шаров после удара.

823. Чтобы сцепить два железнодорожных вагона, стоящих на рельсах на небольшом расстоянии друг от друга, первому вагону сообщают скорость, модуль которой $v_0 = 42\ \frac{\text{см}}{\text{с}}$. Определите модуль скорости движения вагонов после соединения, если масса второго вагона на 10 % больше массы первого. Трением пренебречь.

824. Удастся ли в будущем инженерам разработать автомат, не имеющий при выстреле «отдачи»?

825. До выстрела гаубица и снаряд покоились. Одинаковы ли: а) модули импульсов гаубицы и снаряда при выстреле; б) модули скоростей гаубицы и снаряда при выстреле?

826. Такие обитатели морей, как осьминог, каракатица, моллюск сальпа, при перемещении используют принцип реактивного движения: они втягивают воду в специальные мускулистые мешки своего тела, а затем выталкивают ее наружу. Благодаря этому животные перемещаются в направлении, противоположном выбрасываемой струе. Определите модуль скорости движения осьминога массой $m_{\text{ос}} = 800$ г при выталкивании воды массой $m_{\text{в}} = 100$ г со скоростью, модуль которой $v_{\text{в}} = 20\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

827. Из покоящегося до выстрела орудия массой $m_1 = 3 \cdot 10^3$ кг в горизонтальном направлении вылетает снаряд массой $m_2 = 15$ кг со скоростью, модуль которой $v_2 = 0{,}6\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Определите модуль скорости, которую получит орудие при отдаче.

828. Два шарика двигались навстречу друг другу со скоростями, модуль каждой из которых $v_0 = 1{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, столкнулись и после соударения стали двигаться вместе со скоростью, модуль которой $v = 0{,}75\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите отношение масс шариков.

© MICHAEL GAUTIER

829. Граната, летевшая горизонтально со скоростью, модуль которой $v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, разорвалась на два осколка массами $m_1 = 1{,}0$ кг и $m_2 = 1{,}5$ кг. Больший осколок полетел горизонтально в том же направлении, что и граната до разрыва, но со скоростью, модуль которой $v_2 = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль скорости движения меньшего осколка сразу после разрыва.

830. С кормы лодки массой $m_1 = 0{,}20$ т, движущейся со скоростью, модуль которой $v_0 = 1{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, прыгает мальчик в горизонтальном направлении в сторону, противоположную движению лодки. Определите модуль скорости движения мальчика относительно земли в момент прыжка, если модуль скорости движения лодки после его прыжка стал $v_1 = 3{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Масса мальчика $m_2 = 50$ кг.

831. Человек бежит навстречу движущейся тележке. Модуль скорости движения человека $v_1 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, тележки — $v_2 = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Человек вскакивает на тележку и остается неподвижным относительно нее. Определите модуль скорости движения тележки с человеком сразу после взаимодействия, если масса человека в 2 раза больше массы тележки. Считать все скорости направленными горизонтально.

832. На горизонтальной гладкой поверхности лежит брусок массой $m_1 = 1{,}0$ кг. Пуля массой $m_2 = 4{,}0$ г, летящая горизонтально со скоростью, модуль которой $v_1 = 500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, попадает в центр боковой грани бруска. После столкновения пуля отскакивает в противоположную сторону со скоростью, модуль которой $v_2 = 400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль скорости движения бруска после удара пули.

833. На противоположных концах неподвижной тележки массой $m = 80$ кг стоят два человека: один — массой $m_1 = 50$ кг, другой — массой $m_2 = 60$ кг. Затем они одновременно спрыгивают с тележки в противоположных направлениях со скоростями, модули которых относительно земли $v_1 = 2{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $v_2 = 1{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ соответственно. Опреде-

© MICHAEL GAUTIER

лите модуль скорости движения тележки. Считать, что скорости людей в момент отрыва от тележки направлены горизонтально. Трением пренебречь.

834. Мальчик, стоящий на коньках, толкнул лежащий на льду набивной мяч массой $m_1 = 2{,}0$ кг. Спустя время $t_1 = 6{,}0$ с мяч достиг бортика катка, пройдя путь $s = 30$ м. Определите модуль скорости, с которой стал двигаться мальчик, если его масса $m_2 = 50$ кг. Определите, каким стало расстояние между мячом и мальчиком через время $t_2 = 5{,}0$ с после толчка. Силой сопротивления движению пренебречь.

835. Сигнальную ракету выпустили с поверхности земли вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v_0 = 40 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. В верхней точке ракета разорвалась на две равные по массе части. Первая часть упала на землю со скоростью, модуль которой $v_1 = 50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, рядом с местом старта ракеты. Определите промежуток времени, в течение которого вторая часть находилась в воздухе, если ее скорость после разрыва была направлена вертикально вверх. Сопротивлением воздуха пренебречь.

836. Мина массой m, летящая со скоростью $\vec{v}_0$, разрывается на два осколка, масса одного из которых равна m_1. Скорость движения этого осколка перпендикулярна скорости $\vec{v}_0$ и равна $\vec{v}_1$. Определите скорость движения второго осколка.

837. Снаряд, летевший горизонтально на высоте h со скоростью, модуль которой v_0, разорвался на два равных осколка. Один осколок спустя время t упал на землю точно под местом разрыва. Определите модуль скорости движения другого осколка сразу после разрыва. Сопротивление воздуха не учитывать.

838. Ядро, летевшее горизонтально со скоростью, модуль которой $v_0 = 40 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, разорвалось на два осколка массами $m_1 = 5{,}0$ кг и $m_2 = 10$ кг. При этом скорость меньшего осколка сразу после разрыва оказалась направленной вертикально вниз. Определите модуль скорости движения большего осколка, если модуль скорости движения меньшего осколка $v_1 = 160 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

© MICHAEL GAUTIER

839. Снаряд, выпущенный вертикально вверх, разорвался в верхней точке траектории на три осколка. Первый осколок массой $m_1 = 1{,}0$ кг полетел при разрыве горизонтально со скоростью, модуль которой $v_1 = 0{,}40 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Второй осколок массой $m_2 = 1{,}5$ кг полетел вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v_2 = 0{,}20 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Определите модуль скорости движения третьего осколка, если его масса $m_3 = 2{,}0$ кг.

840. Снаряд, летевший горизонтально со скоростью, модуль которой $v_0 = 50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, разорвался на два осколка массами $m_1 = 8{,}0$ кг и $m_2 = 2{,}0$ кг. Скорость большего осколка, модуль которой $v_1 = 100 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, направлена под углом $\alpha = 60°$ к горизонту вниз и вперед. Определите модуль скорости движения меньшего осколка.

841. Граната, летевшая горизонтально со скоростью, модуль которой $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, разорвалась на два осколка. Скорость большего осколка, модуль которой $v_1 = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, направлена вверх под углом $\alpha = 60°$ к горизонту. Определите отношение масс осколков, если модуль скорости движения меньшего осколка $v_2 = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

842. По гладкой горизонтальной поверхности движется тележка с песком. В песок попадает гиря, отпущенная с некоторой высоты без начальной скорости. Изменится ли скорость движения тележки после попадания в нее гири?

843. По гладкому льду скользит пластмассовая пластина массой $m_1 = 0{,}40$ кг со скоростью, модуль которой $v_0 = 1{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Когда пластина двигалась мимо мальчика, он бросил на нее ком снега массой $m_2 = 2{,}0$ кг. Определите модуль скорости движения пластины со снегом на ней. Считать, что скорость движения кома снега перед ударом о пластину направлена вертикально вниз.

844. На горизонтальной площадке неподвижно стоит скейтборд, масса которого $m_0 = 2{,}0$ кг. На скейтборд прыгает мальчик массой $m = 58{,}0$ кг со скоростью, модуль которой $v_0 = 6{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, направленной

© MICHAEL GAUTIER

сверху вниз под углом $\alpha = 60°$ к горизонту. Определите модуль скорости, которую приобретает скейтборд с мальчиком. Трением пренебречь.

845. Мальчик стоит на краю тележки, покоящейся на гладкой горизонтальной поверхности. Определите модуль скорости движения тележки, если мальчик прыгнет на землю под углом $\alpha = 60°$ к горизонту со скоростью, модуль которой относительно тележки $v = 8{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Масса тележки $m_1 = 0{,}12$ т, масса мальчика $m_2 = 40$ кг.

846. С судна, движущегося со скоростью, модуль которой v_1, произведен выстрел из пушки под углом α к горизонту в противоположном движению судна направлении. Снаряд вылетел со скоростью $\vec{v}_2$ относительно земли. На сколько изменился модуль скорости движения судна, если масса снаряда m_2, а масса судна с пушкой m_1? Сопротивлением движению пренебречь.

847. Тележка массой $m_1 = 0{,}12$ т с человеком массой $m_2 = 80$ кг движется по горизонтальным рельсам без трения со скоростью, модуль которой $v_0 = 1{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Человек соскакивает с тележки под углом $\alpha = 120°$ к направлению ее движения. При этом модуль скорости движения тележки увеличивается до $v_1 = 2{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль скорости движения человека во время прыжка относительно земли.

848. С воздушного шара, неподвижно висящего в воздухе, свешивается веревочная лестница, на которой находится человек. Будет ли смещаться шар относительно земли, если человек начнет подниматься по лестнице?

849. К неподвижной лодке, находящейся на поверхности воды, привязана длинная веревка, второй конец которой находится в такой же лодке с человеком. Как изменятся положения лодок, если человек будет тянуть за веревку, укладывая ее в лодку?

850. Рыбак находится на корме неподвижной лодки, длина которой $l = 5$ м. Рыбак переходит на нос лодки. При этом лодка перемещается относительно воды на $\Delta r = 1$ м. Во сколько раз масса лодки больше массы рыбака? Сопротивлением воды пренебречь.

© MICHAEL GAUTIER

851. Тележка длиной $l = 5{,}0$ м стоит на гладких рельсах. На противоположных концах тележки находятся два мальчика. Масса тележки $m = 75$ кг, массы мальчиков $m_1 = 45$ кг и $m_2 = 30$ кг. Мальчики меняются местами. Определите модуль перемещения тележки.

852. (э) Экспериментально подтвердите закон сохранения импульса.

Оборудование: скейтборд, бутылка с песком объемом $V = 1$ л, мерная лента.

22

Механическая работа

Физическая величина	Формула	Физические величины, входящие в формулу
Механическая работа	$A = F\Delta r \cos\alpha$	A — механическая работа; F — модуль силы, совершающей работу; Δr — модуль перемещения тела; α — угол между силой $\vec{F}$ и перемещением $\Delta\vec{r}$
Мощность	$P = \dfrac{A}{\Delta t}$	P — мощность; A — механическая работа; Δt — промежуток времени, за который совершена работа A
Мгновенная мощность	$P = Fv \cos\alpha$	P — мощность в момент времени t; F — модуль силы в момент времени t; v — модуль скорости в момент времени t; α — угол между силой $\vec{F}$ и скоростью $\vec{v}$

© MICHAEL GAUTIER

853. Санки тянут по горизонтальной поверхности с помощью легкой веревки, которая образует с горизонтом угол $\alpha = 60°$. Модуль силы натяжения веревки $F = 30$ Н. Определите работу силы натяжения при перемещении санок на $\Delta r = 60$ м.

854. Сумку с продуктами равномерно подняли на высоту $h = 50$ см, совершив при этом работу $A = 30$ Дж. Определите модуль силы, совершившей работу.

855. На подводную лодку, всплывшую вертикально вверх, действовала сила Архимеда, модуль которой $F_A = 12$ МН. Определите модуль перемещения лодки, если силой Архимеда была совершена работа $A = 4{,}2 \cdot 10^8$ Дж.

856. На рисунке 161 представлены графики зависимости работ, совершенных при перемещении тележки, от модуля ее перемещения. Во сколько раз отличаются модули сил, совершивших эти работы? Направления сил совпадают с направлением перемещения.

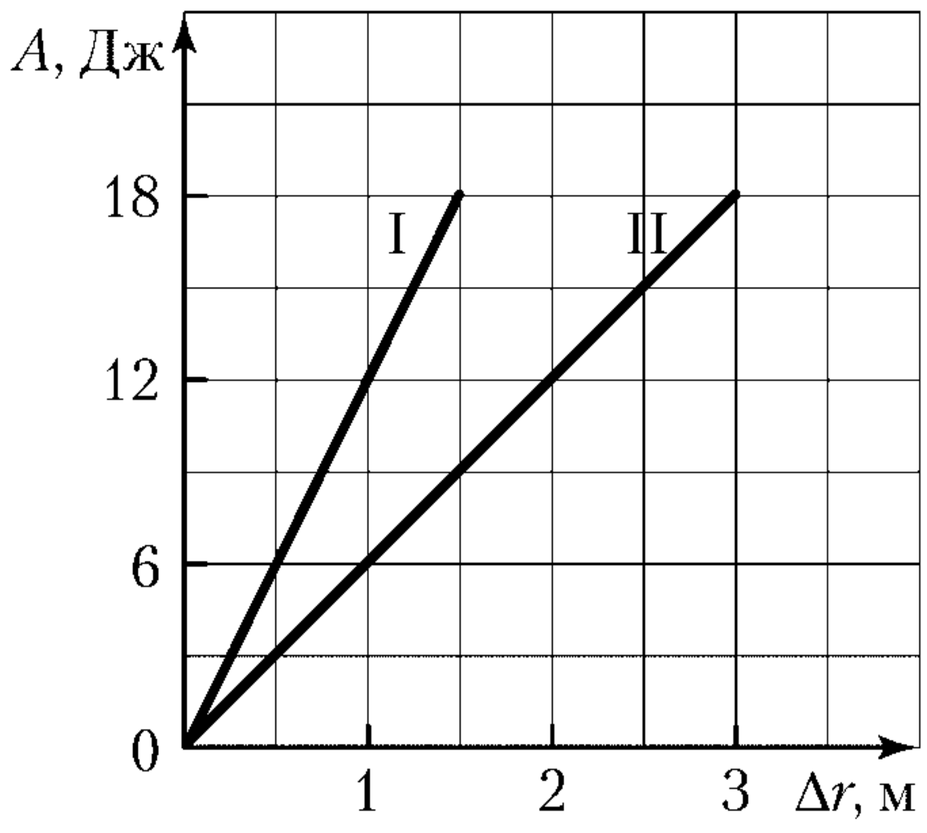


Рис. 161

857. Может ли сила трения покоя совершить работу?

858. Мальчик катается на карусели, равномерно вращающейся по окружности. Совершает ли работу равнодействующая сил, действующих на мальчика?

859. Из колодца на упругом тросе поднимают с постоянной скоростью ведро с водой за время $t = 30$ с. Какую работу совершает сила упругости троса, действующая на ведро с водой, если его масса $m = 12$ кг, а модуль скорости движения ведра $v = 50 \frac{\text{см}}{\text{с}}$?

860. Стальной шарик на упругой нити поднимают вертикально вверх с постоянной скоростью. Определите работы силы упругости и силы тяжести, действующих на шарик при его подъеме на высоту $h = 1{,}0$ м. Объем шарика $V = 5{,}0$ см^3.

861. После удара шайба массой $m = 200$ г скользит по горизонтальному льду. Определите работу силы трения при перемещении шайбы на $\Delta r = 50$ м. Коэффициент трения шайбы о лед $\mu = 0{,}10$.

© MICHAEL GAUTIER

862. Камень массой $m = 0{,}40$ кг, брошенный вертикально вверх, поднялся на высоту $h = 15$ м. При этом силой сопротивления, действующей на камень, совершена работа $A = -20$ Дж. Определите модуль скорости, с которой бросили камень.

863. Какую работу совершает сила тяги электровоза за время $t = 10$ мин, перемещая по горизонтальному участку дороги состав массой $m = 4 \cdot 10^6$ кг с постоянной скоростью, модуль которой $v = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$? Модуль силы сопротивления движению состава $F_{\text{сопр}} = kmg$. Коэффициент пропорциональности $k = 0{,}005$.

864. В каких случаях сила, действующая на тело, не совершает работы?

865. Модуль перемещения ящика по горизонтальной поверхности $\Delta r = 50$ см. При этом на ящик действовала сила трения, модуль которой $F_{\text{тр}} = 8{,}0$ Н, а горизонтальная сила тяги, приложенная к ящику, совершила работу $A = 6{,}0$ Дж. Определите: а) какие силы действовали на ящик; б) какие из этих сил совершили положительную работу, а какие — отрицательную; в) модуль силы тяги; г) равномерно ли перемещали ящик; д) работу силы трения; е) работу равнодействующей силы.

866. При подъеме цилиндра массой $m = 0{,}15$ кг на высоту $h = 2{,}0$ м с помощью нити, привязанной к цилиндру, силой упругости нити была совершена работа $A = 4{,}0$ Дж. Определите: а) какие силы действовали на цилиндр; б) положительную или отрицательную работу совершили эти силы; в) модуль силы упругости нити; г) модуль силы тяжести, действующей на цилиндр; д) равномерно ли поднимали цилиндр; е) модуль равнодействующей силы; ж) работу равнодействующей силы.

867. Определите модуль перемещения равномерно движущегося груза массой $m = 0{,}10$ т по горизонтальной поверхности, если приложенная к нему горизонтально направленная сила совершила работу $A = 4{,}5$ кДж. Коэффициент трения между грузом и поверхностью $\mu = 0{,}15$. Какую работу совершили сила трения и сила тяжести, действующие на груз? Чему равна работа равнодействующей силы?

868. Какую работу совершает сила, с которой учащийся поднимает книгу массой $m = 0{,}80$ кг на высоту $h = 75$ см с ускорением, мо-

© MICHAEL GAUTIER

дуль которого $a = 1{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$? Чему равна работа равнодействующей всех сил, действующих на книгу? Сопротивлением движению пренебречь.

869. Груз массой $m = 1{,}0$ кг поднимают с помощью веревки вертикально вверх с ускорением, модуль которого $a = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. За какое время сила упругости веревки, действующая на груз, совершит работу $A = 48$ Дж? Сопротивлением пренебречь. Начальная скорость груза равна нулю.

870. При взлете вертолета равнодействующей сил, приложенных к вертолету, за время $t = 6{,}0$ с совершена работа $A = 73{,}5$ кДж. Определите модуль равнодействующей силы, если масса вертолета $m = 3{,}0$ т.

871. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы поднять в озере металлический груз массой $m = 8{,}0$ кг и объемом $V = 2{,}0$ дм^3 с глубины $h = 7{,}0$ м? Сопротивлением воды пренебречь.

872. Сосулька, оторвавшись от крыши дома, свободно падает на землю. Равную ли работу совершает сила тяжести на первой и второй половинах перемещения сосульки?

873. Во сколько раз работа силы тяжести свободно падающего шарика за вторую половину времени падения больше, чем за первую? Начальная скорость шарика равна нулю.

874. Электротележка массой $m = 8{,}0$ кг движется вдоль оси Ox. Зависимость проекции скорости от времени описывается уравнением $v_x = A + Bt$, где $A = 5{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $B = 4{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите работу силы сопротивления при перемещении тележки на $\Delta r = 20$ м, если на нее действует горизонтально направленная сила тяги, модуль которой $F = 34$ Н.

875. Координата железного бруска массой $m = 500$ г, движущегося вдоль оси Ox, зависит от времени по закону $x = A + Bt + Ct^2$, где $A = 20$ м, $B = 0{,}50\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C = 1{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите работу, совершенную силой упругости горизонтальной нити, привязанной к бруску, за время $t = 3{,}0$ с, если на брусок действует сила трения, модуль которой $F_{\text{тр}} = 1{,}0$ Н.

© MICHAEL GAUTIER

876. Брусок массой $m = 0{,}40$ кг равноускоренно движется вдоль оси Ox. На рисунке 162 изображен график зависимости проекции ускорения бруска от времени. Проекция начальной скорости движения $v_{0x} = 1{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите работу равнодействующей сил, приложенных к бруску, за время его движения $t = 6{,}0$ с. Равнодействующая сила направлена вдоль оси Ox.

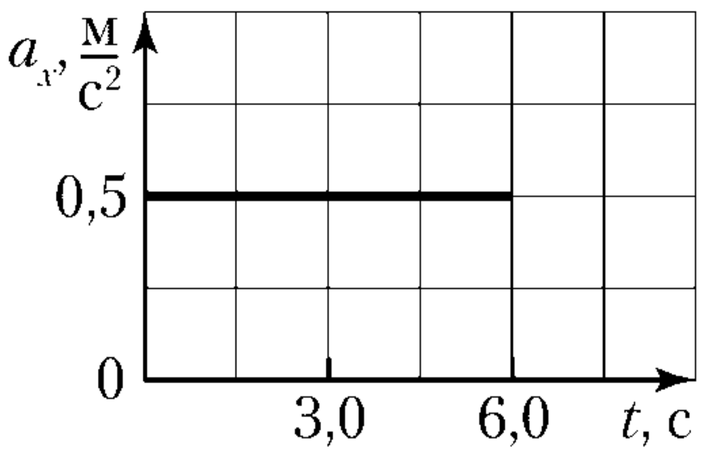


Рис. 162

877. Шайба массой $m = 50$ г движется равноускоренно по горизонтальной поверхности вдоль оси Ox под действием силы трения. График зависимости проекции скорости движения шайбы от времени представлен на рисунке 163. Определите работу силы трения за время $t = 4{,}0$ с.

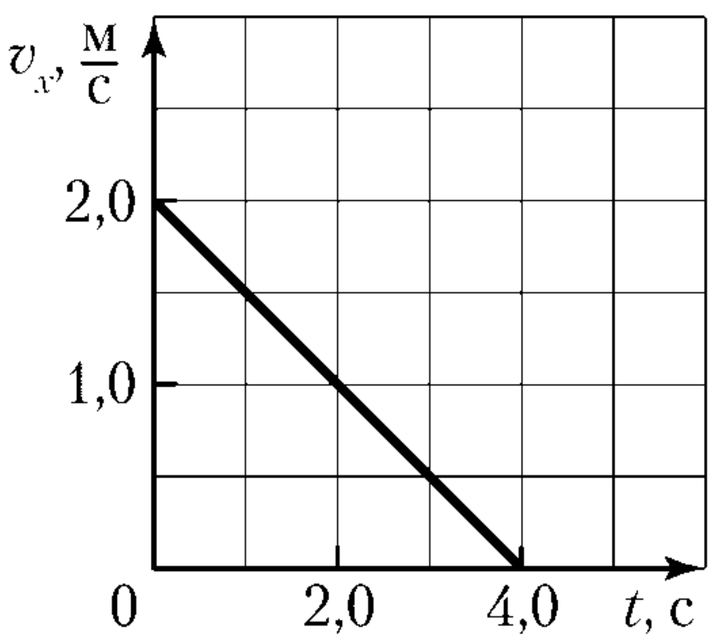


Рис. 163

878. Детская игрушка массой $m = 2{,}0$ кг движется равноускоренно по горизонтальной поверхности вдоль оси Ox под действием горизонтально направленной силы, модуль которой $F = 5{,}0$ Н. График зависимости проекции перемещения игрушки от времени ее движения изображен на рисунке 164. Определите работу равнодействующей всех сил, а также силы трения и горизонтальной силы $\vec{F}$ при перемещении игрушки на $\Delta r = 0{,}50$ м, если проекция начальной скорости движения игрушки $v_{0x} = 0{,}10\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

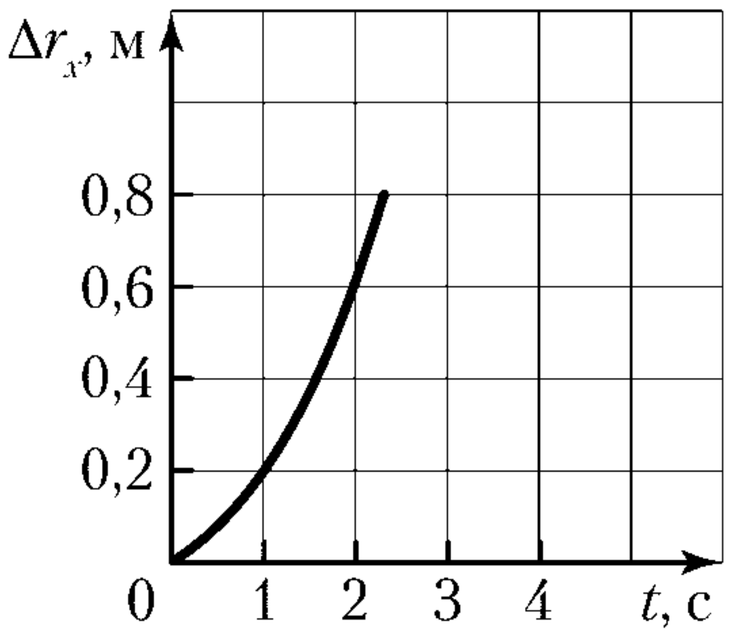


Рис. 164

879. Брусок массой $m = 1{,}0$ кг переместился с вершины наклонной плоскости длиной $l = 1{,}0$ м, образующей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом, к ее основанию. Коэффициент трения между бруском и наклонной плоскостью $\mu = 0{,}20$. Определите работу каждой силы, действующей на брусок при его движении по наклонной плоскости. Определите работу равнодействующей сил, приложенных к бруску.

© MICHAEL GAUTIER

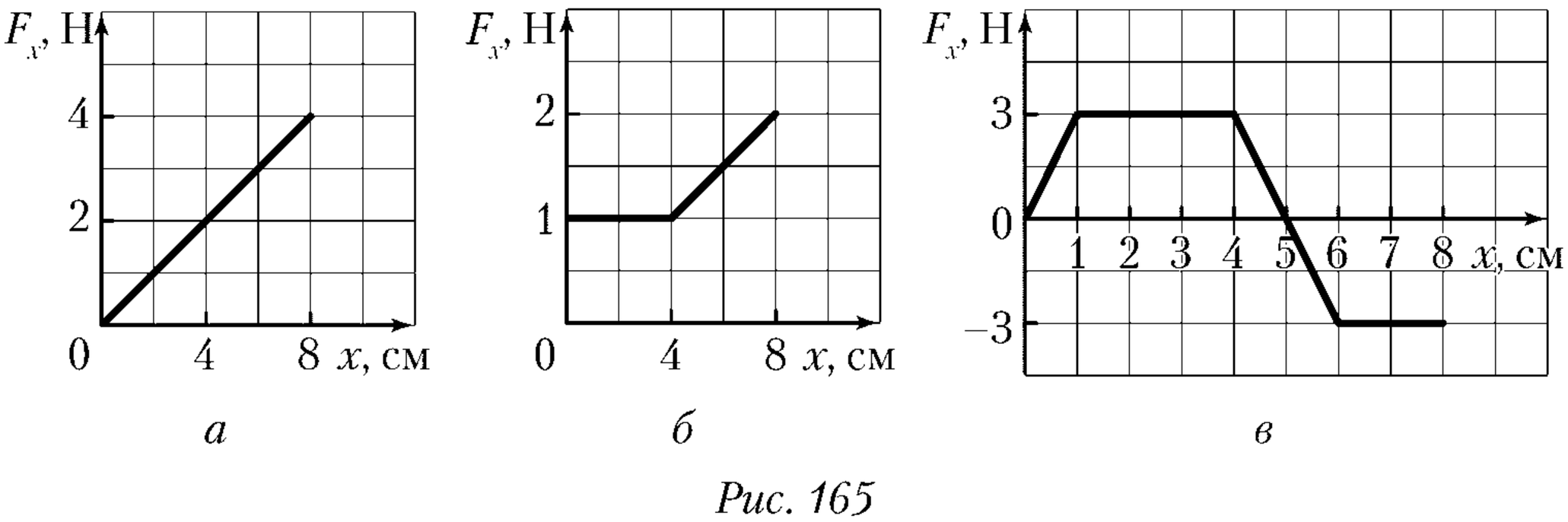
880. Какую работу совершила сила, модуль которой $F = 20$ Н, поднявшая по наклонной плоскости груз массой $m = 2{,}0$ кг на высоту $h = 2{,}5$ м с ускорением, модуль которого $a = 5{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$? Сила направлена параллельно наклонной плоскости. Трением пренебречь.

881. Груз массой $m = 20$ кг поднимают по наклонной плоскости на высоту $h = 6{,}0$ м. Определите работу силы трения, если сила тяги параллельна наклонной плоскости, коэффициент трения $\mu = 0{,}20$, а модуль перемещения $\Delta r = 10{,}0$ м.

882. Тюбинг (надувные сани) массой $m = 2{,}0$ кг мальчик равномерно тянет по горизонтальной поверхности с помощью веревки, составляющей угол $\alpha = 45°$ с горизонтом. Коэффициент трения между тюбингом и поверхностью $\mu = 0{,}2$. Какую работу совершит сила натяжения веревки на пути $s = 2{,}4$ м?

883. Брусок под действием двух взаимно перпендикулярных сил, модули которых $F_1 = 15$ Н и $F_2 = 20$ Н, из состояния покоя переместился прямолинейно на $\Delta r = 20$ м. Определите работу каждой силы.

884. Тело движется в направлении оси Ox. На него действует сила, проекция которой зависит от координаты x так, как показано на графиках (рис. 165, *а*, *б*, *в*). Определите работу силы к тому моменту времени, когда тело из начала координат переместится в точку с координатой $x = 8$ см, для всех трех случаев.



а *б* *в*

Рис. 165

885. Санки массой $m = 8{,}0$ кг и длиной $l = 1{,}0$ м выезжают с гладкого льда на лед, посыпанный песком, двигаясь по горизонтальной поверхности. Коэффициент трения полозьев по льду с песком $\mu = 0{,}50$. Какую работу совершит сила трения к моменту, когда санки полностью окажутся на льду, посыпанном песком?

© MICHAEL GAUTIER

886. Цилиндрическая бочка диаметром $d = 70$ см плавает в воде в вертикальном положении, частично погрузившись в нее. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы вынуть бочку из воды, если ее масса $m = 200$ кг? Силы сопротивления не учитывать.

887. Кубик из материала плотностью ρ плавает в жидкости плотностью ρ_0 ($\rho_0 > \rho$). Длина ребра кубика равна a. Определите минимальную работу, которую необходимо совершить, чтобы: а) полностью утопить кубик; б) полностью вытащить его из жидкости. Нижняя грань кубика расположена горизонтально.

888. На горизонтальной поверхности лежит брусок. К бруску прикреплена невесомая горизонтально расположенная пружина жесткостью $k = 0{,}10 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$. Другой конец пружины прикреплен к стене. При этом пружина не деформирована. Брусок сместили от стены на $\Delta r = 20$ см и отпустили. Определите работу силы упругости пружины при перемещении бруска из крайнего положения в первоначальное.

889. Ящик массой $m = 10$ кг лежит на горизонтальной поверхности на некотором расстоянии от вертикальной стены, с которой он соединен легкой горизонтальной пружиной жесткостью $k = 0{,}20 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$. Коэффициент трения между ящиком и поверхностью $\mu = 0{,}20$. Ящик медленно отодвигают от стены на расстояние $l = 20$ см, прикладывая к нему горизонтальную силу. Какую работу совершает эта сила? В начальном положении пружина не деформирована.

890. В трубку длиной $l = 15$ см забита пробка длиной $l_0 = 5$ см (рис. 166). Во сколько раз большую работу нужно совершить, чтобы вытолкнуть пробку через нижнее отверстие, чем через верхнее? Массой пробки пренебречь. Перемещение пробки считать равномерным. Коэффициент трения скольжения по всей трубке одинаков.

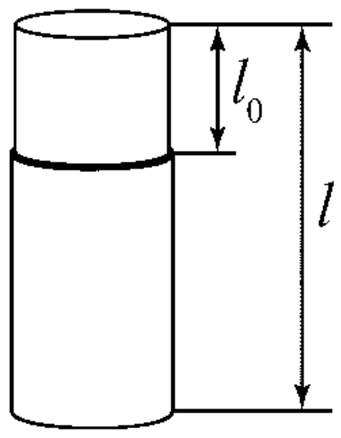


Рис. 166

891. (э) Экспериментально подтвердите зависимость механической работы от равнодействующей силы, приложенной к телу.

Оборудование: доска, груз, динамометр, нитка, мерная лента.

© MICHAEL GAUTIER

892. (э) Экспериментально определите работу средней силы тяги «двигателя» механической заводной игрушки при ее движении на пути, пройденном до полной остановки.

Оборудование: заводная игрушка, мерная лента, динамометр, нить.

23

Мощность

893. Подъемный кран равномерно поднимает железобетонную плиту. Определите мощность, которую развивает сила натяжения троса, если этой силой совершена работа $A = 144$ кДж за время $t = 0{,}12$ мин.

894. При разгоне бобслейных саней спортсмены развили среднюю мощность $\langle P \rangle = 1{,}7$ кВт. Определите работу, совершенную при разгоне, если разгон длился в течение времени $t = 5{,}0$ с.

895. Человек массой $m = 70$ кг поднимается по лестнице на высоту $h = 3{,}5$ м, развивая среднюю мощность $\langle P \rangle = 0{,}35$ кВт. Определите время, затраченное им на подъем.

896. Отец с сыном поднимаются по лестнице в свою квартиру: отец — пешим шагом за время $t_о = 2{,}4$ мин, сын — бегом за время $t_с = 1{,}5$ мин. Сравните средние мощности, которые они развили при подъеме, если масса отца в $n = 1{,}6$ раза больше массы сына.

897. Самолет Ан-2 при мощности двигателя $P = 735$ кВт развил скорость, модуль которой $v = 252 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите модуль силы тяги самолета.

898. Автомобиль массой $m = 2{,}0$ т движется по горизонтальной дороге с постоянной скоростью, модуль которой $v = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Модуль силы сопротивления, действующей на автомобиль, составляет 5,2 % от модуля силы тяжести автомобиля. Определите мощность двигателя автомобиля.

© MICHAEL GAUTIER

899. Двигатель, предельная мощность которого $P = 15$ кВт, установленный на автомобиле, может сообщить ему при движении по горизонтальному участку дороги максимальную скорость, модуль которой $v_1 = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Такой же двигатель, установленный на моторной лодке, может разогнать ее при движении по озеру до скорости, модуль которой $v_2 = 18 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите, во сколько раз отличаются модули сил сопротивления, действующие на автомобиль и моторную лодку при этих скоростях. Можно ли решить задачу, не используя все данные?

900. Почему водителю автомобиля при подъеме в гору при неизменной мощности двигателя приходится уменьшать скорость движения?

901. Два корабля равномерно плывут по морю под действием одинаковой силы тяги. Равны ли мощности двигателей, если скорости движения кораблей разные? Ответ обоснуйте.

902. Одинаковую ли мощность развивает двигатель городского автобуса, когда движется с одной и той же скоростью с пассажирами и без них? Ответ обоснуйте.

903. Является ли равноускоренным движение мотоцикла, мощность двигателя которого при разгоне поддерживается постоянной? Силу сопротивления считать неизменной.

904. Автомобиль массой $m = 1{,}0$ т трогается с места и, двигаясь равноускоренно, проходит путь $s = 50$ м за время $t = 5{,}0$ с. Какую мощность развивает двигатель автомобиля в конце пятой секунды движения? Силой сопротивления пренебречь.

905. Какую среднюю мощность развивают двигатели при равноускоренном разгоне самолета массой m, если длина участка разгона перед взлетом l, а модуль скорости взлета v? Модуль силы сопротивления F_c.

906. По горизонтальной поверхности вдоль оси Ox движется тело под действием равнодействующей силы, модуль которой $F = 30$ Н. Зависимость проекции перемещения тела от времени имеет вид: $\Delta r_x = At + Bt^2$, где $A = 2{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $B = 1{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите среднюю мощность равнодействующей силы при перемещении тела на $\Delta r = 15$ м.

© MICHAEL GAUTIER

907. По горизонтальной поверхности вдоль оси Ox движется тело под действием горизонтальной силы тяги, модуль которой $F = 10$ Н. Зависимость проекции скорости движения тела от времени имеет вид: $v_x = A + Bt$, где $A = 4{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, $B = 3{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите среднюю мощность силы тяги при перемещении тела на $\Delta r = 1{,}5$ м.

908. На рисунке 167 представлен график зависимости мощности лошади, равномерно тянущей повозку, от времени. Определите работу, совершенную силой тяги лошади за время движения $t = 20$ с.

909. На рисунке 168 представлен график зависимости мощности, развиваемой реактивным двигателем ракеты, от времени. Во сколько раз отличаются работы, совершенные двигателем за первую и вторую половины времени движения ракеты?

910. На каждое из двух тел, движущихся в направлении горизонтальной оси Ox, действуют равные силы тяги. На рисунке 169 представлены графики зависимости работы этих сил от времени. Равномерно или равноускоренно двигались тела? Постройте графики зависимости мощности от времени движения тел.

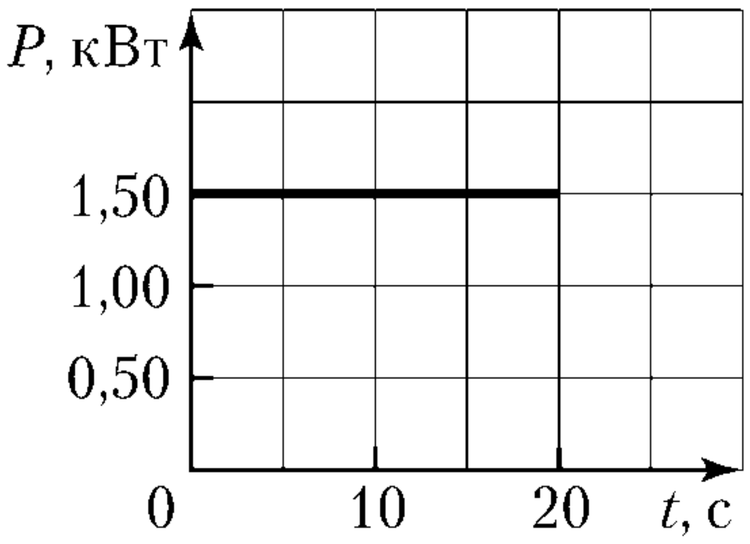


Рис. 167

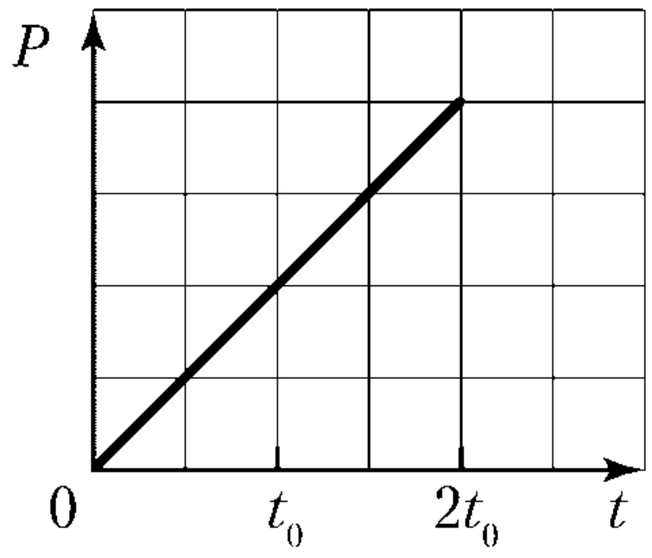


Рис. 168

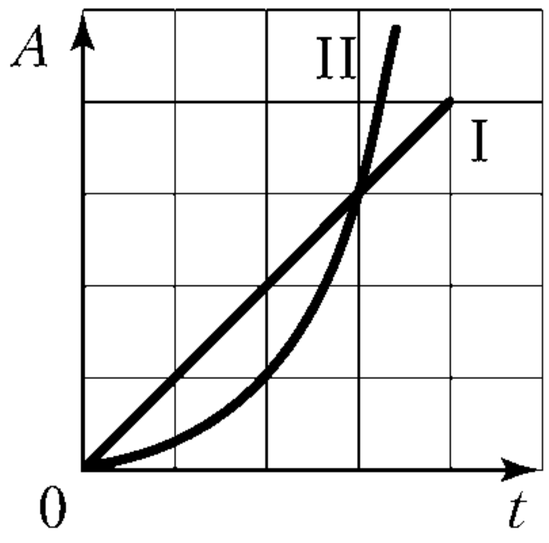


Рис. 169

911. На вершине наклонной плоскости длиной $l = 50$ см и высотой $h = 30$ см закреплен электродвигатель, с помощью которого равномерно тянут брусок вверх по наклонной плоскости. Определите модуль импульса бруска, если мощность электродвигателя $P = 0{,}80$ Вт. Коэффициент трения бруска о плоскость $\mu = 0{,}25$.

912. Человек тянет груженые санки массой $m = 40$ кг по горизонтальной заснеженной дороге с постоянной скоростью, модуль которой $v = 66\,\frac{\text{см}}{\text{с}}$, с помощью невесомой веревки, наклоненной под углом $\alpha = 45°$ к горизонту. Определите мощность силы натяжения веревки, если коэффициент трения полозьев о снег $\mu = 0{,}10$.

© MICHAEL GAUTIER

913. Аэросани равномерно движутся в гору со скоростью, модуль которой v_1, а под гору — со скоростью, модуль которой v_2. Определите модуль скорости равномерного движения аэросаней по горизонтальному участку пути, если мощность двигателя и коэффициент трения на всех участках пути одинаковы. Угол наклона горы к горизонту равен α.

914. При движении со скоростью, модуль которой $v = 36\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$, электровоз развивает мощность $P = 60$ кВт. Определите модуль силы тяги электровоза, если его КПД $\eta = 80\ \%$.

915. Ведро с песком поднимают при помощи неподвижного блока на высоту $h = 4{,}0$ м, действуя на веревку силой, модуль которой $F = 0{,}25$ кН. Определите КПД блока, если полезная работа $A = 0{,}98$ кДж.

916. Высота наклонной плоскости $h = 1{,}2$ м. Для равномерного подъема по этой плоскости груза массой $m = 180$ кг силой, направленной вдоль наклонной плоскости, совершена работа $A = 2{,}7$ кДж. Определите КПД наклонной плоскости.

917. С помощью подвижного блока равномерно подняли груз массой $m = 8{,}0$ кг на высоту $h = 3{,}0$ м за время $t = 5{,}0$ с. Определите мощность силы, приложенной к свободному концу веревки, если КПД блока $\eta = 80\ \%$.

918. Определите КПД легкого рычага, с помощью которого груз равномерно подняли вверх. При этом к длинному плечу рычага вертикально вниз была приложена сила, мощность которой $P = 70$ Вт. При подъеме модуль импульса был $p = 6{,}86\,\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

919. Определите мощность гидротурбины, КПД которой $\eta = 84\ \%$. Известно, что за время $t = 3{,}0$ с с высоты $h = 50$ м на турбину падает вода объемом $V = 150$ м^3.

920. При погрузке в кузов автомашины станок равномерно поднимают по наклонному деревянному трапу, прилагая силу, направленную вдоль трапа. При этом, выигрывая в силе в $n = 1{,}5$ раза, проигрывают в пути в $k = 2{,}5$ раза. Определите полезную работу, если совершенная работа $A_{\text{сов}} = 9{,}0$ кДж.

© MICHAEL GAUTIER

921. (э) Экспериментально определите работу и среднюю мощность, развиваемую мышцами ваших рук при подтягивании на перекладине (опыт рекомендуется проводить вдвоем).

Оборудование: измерительная лента, часы с секундной стрелкой, напольные весы.

24

Потенциальная энергия

Физическая величина или закон	**Формула**	**Физические величины, входящие в формулу или закон**
Потенциальная энергия взаимодействия тела и Земли	$E_{п} = mgh$	$E_{п}$ — потенциальная энергия тела; m — масса тела; g — модуль ускорения свободного падения; h — высота, на которой находится тело относительно нулевого уровня
Потенциальная энергия упруго деформированного (растянутого или сжатого) тела	$E_{п} = \frac{k\Delta l^2}{2}$	$E_{п}$ — потенциальная энергия упруго деформированного тела; k — жесткость тела; Δl — изменение размеров тела
Работа потенциальной силы (силы тяжести и силы упругости)	$A_{п} = -\Delta E_{п}$ $A_{тяж} = -(mgh_2 - mgh_1)$ $A_{упр} = -\left(\frac{k\Delta l_2^2}{2} - \frac{k\Delta l_1^2}{2}\right)$	$A_{п}$ — работа потенциальной силы ($A_{тяж}$ — работа силы тяжести, $A_{упр}$ — работа силы упругости); $\Delta E_{п}$ — изменение потенциальной энергии тела; m — масса тела;

© MICHAEL GAUTIER

Физическая величина или закон	**Формула**	**Физические величины, входящие в формулу или закон**
		g — модуль ускорения свободного падения; h_1 и h_2 — высота, на которой находится тело относительно нулевого уровня в первом и втором состоянии соответственно; k — жесткость тела; Δl_1 и Δl_2 — изменение длины тела в первом и втором состоянии соответственно

922. В комнате на столе высотой $h_1 = 75$ см лежит тонкая металлическая пластина массой $m = 0{,}40$ кг. Чему равна потенциальная энергия пластины относительно поверхности: а) пола; б) стола; в) потолка? Высота комнаты $h_2 = 3{,}0$ м.

923. На какую высоту с поверхности земли с помощью неподвижного блока надо поднять ведро с бетоном массой $m = 22$ кг, чтобы его потенциальная энергия увеличилась на $\Delta E_{\text{п}} = 1{,}1$ кДж?

924. При разборе старого здания подъемным краном была снята деревянная балка перекрытия, находящаяся на высоте $h = 15$ м, и опущена на землю. Определите изменение потенциальной энергии балки, если плотность дерева $\rho = 500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, объем балки $V = 0{,}32$ м^3.

925. Кусок льда объемом $V = 40$ дм^3 равномерно подняли со дна погреба на поверхность за время $t = 5{,}0$ с. Определите изменение потенциальной энергии куска льда, если модуль скорости подъема $v = 1{,}8 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

926. Кирпич и сосновый брусок подняли на одинаковую высоту. При этом их потенциальные энергии изменились одинаково. Во сколько раз отличаются объемы кирпича и бруска?

© MICHAEL GAUTIER

927. Однородный латунный кубик, длина ребра которого $a = 20$ см, лежит на табурете высотой $h = 40$ см. Определите потенциальную энергию кубика относительно поверхности пола и табурета.

928. Тело, покоящееся на поверхности земли, начинают поднимать вертикально вверх с постоянным ускорением, модуль которого $a = 2{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите отношение потенциальной энергии тела к кинетической через некоторое время. За нулевой уровень потенциальной энергии принять поверхность земли.

929. Могут ли одновременно уменьшаться и потенциальная энергия, и кинетическая энергия тела? Увеличиваться? Приведите примеры.

930. Один из двух одинаковых стальных шаров висит на нерастяжимой нити, а другой лежит на горизонтальном столе так, что их центры находятся на одном уровне (рис. 170). Температура шаров одинаковая. Как изменится потенциальная энергия каждого шара, если их нагреть, повысив температуру одинаково?

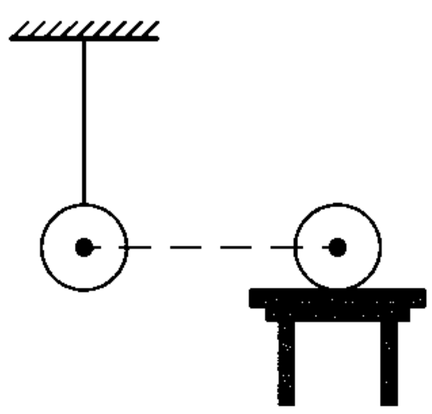


Рис. 170

931. На рисунке 171 представлены графики зависимости потенциальной энергии кабины лифта, поднимающейся без пассажиров и с пассажирами, от высоты ее подъема. Определите массу кабины и массу пассажиров.

932. Постройте график зависимости потенциальной энергии тела массой $m = 2{,}0$ кг, которое поднимают вертикально вверх, от времени подъема. Рассмотрите случаи, когда подъем осуществляется: а) равномерно со скоростью, модуль которой $v = 50\ \frac{\text{см}}{\text{с}}$; б) равноускоренно с ускорением, модуль которого $a = 50\ \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$. Модуль начальной скорости движения тела $v_0 = 50\ \frac{\text{см}}{\text{с}}$.

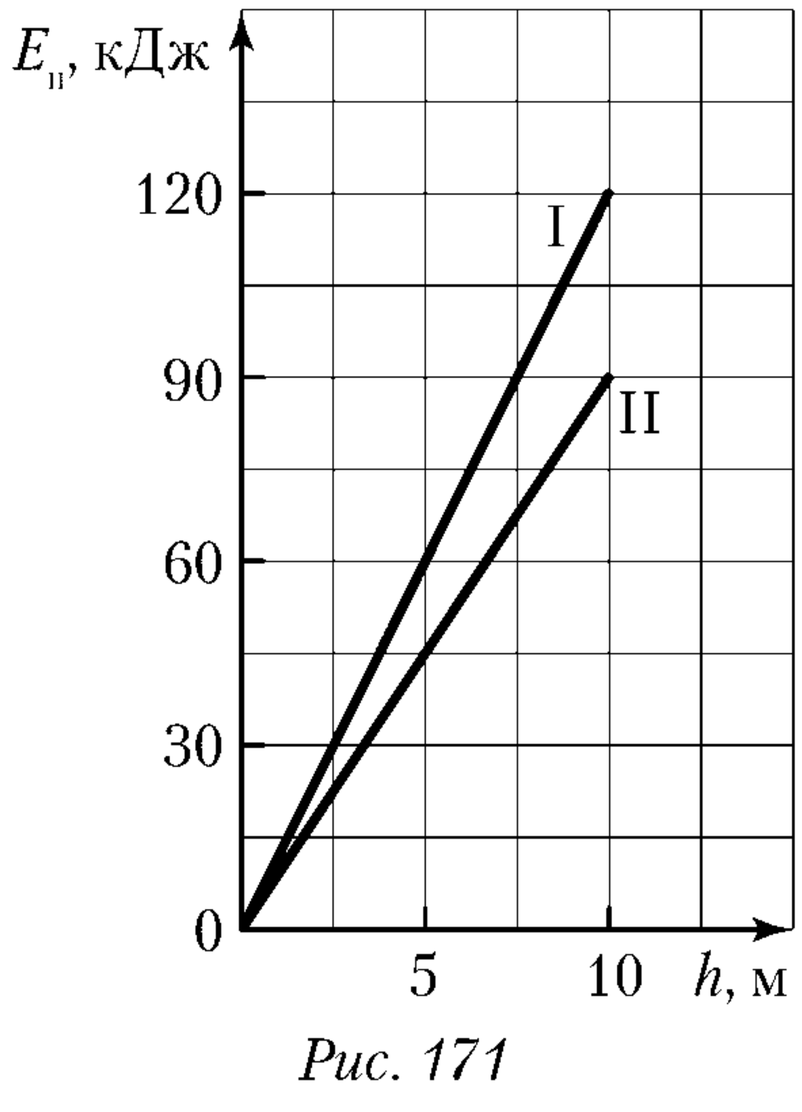


Рис. 171

© MICHAEL GAUTIER

933. Жесткость легкой недеформированной упругой пружины $k = 250\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Пружину сжали на $|\Delta l| = 20$ см. Определите потенциальную энергию сжатой пружины.

934. Длина невесомой упругой пружины в недеформированном состоянии $l_0 = 30$ см, ее жесткость $k = 200\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Чему равна длина растянутой пружины, если она обладает потенциальной энергией $E_{\text{п}} = 9{,}0$ Дж?

935. К невесомой упругой пружине подвешен однородный чугунный цилиндр объемом $V = 40$ см^3. При этом пружина растянулась на $\Delta l = 70$ мм. Определите потенциальную энергию пружины. Изменится ли потенциальная энергия пружины, если ее вместе с цилиндром равноускоренно поднимать вертикально вверх? Опускать вниз?

936. К невесомой упругой пружине подвешен груз массой $m_1 = 0{,}1$ кг. Груз какой массы надо дополнительно прикрепить к первому грузу, чтобы потенциальная энергия пружины увеличилась в $n = 9$ раз?

937. Упругий резиновый жгут разрезали на две части в отношении 1 : 2. Могут ли полученные жгуты обладать равной потенциальной энергией?

938. Суммарное растяжение двух легких последовательно соединенных пружин $\Delta l = 3{,}0$ см. Жесткость первой пружины $k_1 = 10\ \frac{\text{кН}}{\text{м}}$, второй — $k_2 = 20\ \frac{\text{кН}}{\text{м}}$. Определите потенциальную энергию первой пружины.

939. На вершине гладкой закрепленной трапеции лежит гладкий кубик (рис. 172). Сравните работы, совершенные силой тяжести, если кубик один раз соскользнет по левой, а второй раз — по правой наклонной плоскости трапеции.

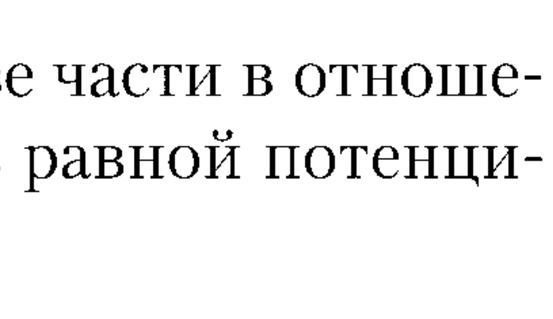


Рис. 172

940. Какую работу совершит сила тяжести, если слаломист массой $m = 70$ кг спустится по горнолыжной трассе с высоты $h = 400$ м? На сколько изменится при этом потенциальная энергия слаломиста?

© MICHAEL GAUTIER

941. Самый высокий в мире водопад Анхель имеет высоту $h = 979$ м. Какую работу совершит сила тяжести, действующая на воду объемом $V = 1{,}0$ м^3, падающую с высоты h?

942. Тонкий однородный стержень длиной $l = 1{,}5$ м и массой $m = 10$ кг лежит на горизонтальной поверхности. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы поставить его в вертикальное положение?

943. На гладкой горизонтальной плоскости лежит тонкая цепочка длиной $l = 80$ см и массой $m = 400$ г. Определите минимальную работу, которую надо совершить, чтобы поднять цепочку, взявшись за ее середину, на высоту, при которой нижние ее концы будут находиться от плоскости на расстоянии, равном длине цепочки.

944. Какую минимальную работу необходимо совершить, чтобы насосом выкачать воду, наполовину заполняющую бассейн площадью $S = 10$ м^2 и глубиной $h = 2{,}0$ м?

945. Из шахты глубиной $H = 60$ м на поверхность земли на канате поднимают груз массой $m = 94$ кг. Масса каждого метра каната $m_0 = 0{,}20$ кг. Определите минимальную работу, совершаемую при этом.

946. Аквариум, площадь дна которого $S = 600$ см^2, заполнен водой до глубины $h = 16$ см и перегорожен пополам тонкой вертикальной перегородкой. Перегородку медленно перемещают так, что она делит аквариум в отношении 1 : 2. Вода через перегородку и края аквариума не перетекает. Определите совершенную при этом работу. Трением перегородки о дно и стенки аквариума пренебречь.

947. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы однородный цилиндр, находящийся на горизонтальной шероховатой поверхности, из вертикального положения перевести в горизонтальное? Масса цилиндра $m = 1{,}8$ кг, его высота $h = 12$ см. Диаметр основания цилиндра $d = 50$ мм.

948. Три однородные прямоугольные плиты массой $m = 80$ кг и толщиной $h = 0{,}20$ м каждая лежат рядом на горизонтальной площадке. Какую минимальную работу надо выполнить, чтобы сложить плиты одна на другую в виде стопы?

© MICHAEL GAUTIER

949. Брусок массой $m = 1{,}0$ кг покоится на горизонтальной поверхности. К нему прикреплена легкая пружина жесткостью $k = 20\,\frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Какую работу надо совершить, чтобы сдвинуть с места брусок, растягивая пружину в горизонтальном направлении, если коэффициент трения между бруском и поверхностью $\mu = 0{,}20$?

950. Пружину растянули на $\Delta l_1 = 1$ см, приложив к ней силу, модуль которой $F = 0{,}2$ кН. Какую работу надо совершить, чтобы растянуть пружину еще на $\Delta l_2 = 2$ см?

951. Модуль максимальной силы, на которую рассчитана пружина динамометра, $F = 4{,}0$ Н. Жесткость пружины $k = 40\,\frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Определите работу, которую надо совершить, чтобы конец пружины переместился от середины до конца шкалы динамометра.

952. Тонкая пластина массой $m = 10$ кг лежит на горизонтальном столе. В центре пластины укреплена легкая пружина жесткостью $k = 100\,\frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы с помощью пружины поднять пластину на высоту $h = 1{,}0$ м от поверхности стола?

953. К легкой пружине, верхний конец которой закреплен неподвижно, подвешен груз массой m. При этом длина пружины равна l. Если же к пружине подвесить груз вдвое большей массы, то ее длина станет равной $1{,}2l$. Какую работу необходимо совершить, чтобы растянуть пружину из недеформированного состояния до длины $1{,}5l$?

954. Обладает ли сжатый газ потенциальной энергией?

© MICHAEL GAUTIER

25

Кинетическая энергия

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу или закон
Кинетическая энергия тела	$E_к = \frac{mv^2}{2}$	$E_к$ — кинетическая энергия тела; m — масса тела; v — модуль скорости движения тела
Теорема об изменении кинетической энергии тела	$A = \Delta E_к$ $A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$	A — работа равнодействующей силы; $\Delta E_к$ — изменение кинетической энергии тела; m — масса тела; v_1 и v_2 — модули скорости движения тела в начальный и конечный моменты времени

955. Определите кинетическую энергию окуня массой $m = 400$ г, плывущего со скоростью, модуль которой $v_0 = 1{,}5\ \frac{м}{с}$.

956. Белый медведь бежит со скоростью, модуль которой $v_0 = 8{,}0\ \frac{м}{с}$. Определите массу белого медведя, если он обладает кинетической энергией $E_к = 8{,}0$ кДж.

957. Определите модуль скорости движения спортивного диска массой $m = 2{,}0$ кг в верхней точке траектории полета, если в этой точке его кинетическая энергия $E_к = 289$ Дж.

958. Сравните кинетические энергии льдинки града и дождевой капли, падающих с одинаковой скоростью, если равны их: а) массы; б) объемы.

959. Закупоренная бутылка, содержащая $V = 40\ см^3$ воды, плывет в реке. Определите кинетическую энергию воды в бутылке относительно берега, если модуль скорости течения воды в реке $v = 60\ \frac{см}{с}$.

© MICHAEL GAUTIER

960. Определите массу шарика, обладающего кинетической энергией $E_к = 10$ Дж и импульсом, модуль которого $p = 2{,}0\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

961. Мяч летит горизонтально со скоростью, модуль которой $v_0 = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. После удара о ракетку мяч движется в противоположную сторону со скоростью, модуль которой $v = 20\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите модуль изменения импульса мяча, если изменение его кинетической энергии $\Delta E_к = 10$ Дж.

962. На спице длиной $l = 50$ см вращают в вертикальной плоскости с постоянной угловой скоростью $\omega = 8{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ маленький шарик массой $m = 80$ г. Определите кинетическую энергию шарика.

963. Бусинка, привязанная к нерастяжимой нити, равномерно вращается в горизонтальной плоскости по окружности радиусом $R = 50$ см. Определите модуль результирующей силы, действующей на бусинку, если она обладает кинетической энергией $E_к = 80$ мДж.

964. При движении вдоль оси Ox зависимость проекции скорости движения тела массой $m = 4{,}0$ кг от времени описывается уравнением $v_x = A + Bt$, где $A = 12\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $B = -2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите кинетическую энергию тела через время $t = 4{,}0$ с после начала движения. Через какое минимальное время кинетическая энергия тела уменьшится в $n = 4{,}0$ раза по сравнению с начальной?

965. Заводная игрушка массой $m = 200$ г движется вдоль оси Ox. Кинематический закон ее движения имеет вид: $x = A + Bt + Ct^2$, где $A = 2{,}0$ м, $B = 1{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C = -0{,}2\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите кинетическую энергию игрушки в момент времени $t_1 = 2{,}0$ с. В какой момент времени кинетическая энергия игрушки будет равна нулю?

966. Кинематические законы движения двух тел вдоль оси Ox имеют вид: $x_1 = B_1 t + C_1 t^2$ и $x_2 = A_2 + B_2 t + C_2 t^2$, где $B_1 = 2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$,

© MICHAEL GAUTIER

$C_1 = 0{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, $A_2 = 4$ м, $B_2 = 20\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C_2 = -1\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Через сколько времени кинетические энергии тел станут одинаковыми, если масса второго тела в $n = 4$ раза меньше массы первого?

967. Шарик массой $m = 0{,}10$ кг, подвешенный на нити длиной $l = 40$ см, описывает в горизонтальной плоскости окружность. Чему равна кинетическая энергия шарика, если во время его движения нить образует с вертикалью постоянный угол $\alpha = 60°$?

968. Тело брошено горизонтально с некоторой высоты со скоростью, модуль которой $v_0 = 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Через какое время кинетическая энергия тела возрастет вдвое? Сопротивлением движению пренебречь.

969. На концах невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через легкий неподвижный блок, подвешены два груза массами $m_1 = 260$ г и $m_2 = 240$ г. Какой кинетической энергией будет обладать второй груз через время $t = 0{,}50$ с после того, как грузы отпустят? Сопротивлением движению пренебречь.

970. Какой кинетической энергией обладает автомобиль массой $m = 2{,}5 \cdot 10^3$ кг, движущийся со скоростью, модуль которой постоянен, по выпуклому мосту радиусом $R = 60$ м, если модуль силы давления автомобиля на мост в верхней его точке в $n = 2{,}0$ раза больше, чем в точке, направление на которую из центра кривизны моста составляет угол $\alpha = 30°$ с вертикалью?

971. Мальчик подбросил вертикально вверх мячик массой $m = 60$ г со скоростью, модуль которой $v_0 = 5{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Вернулся же мячик обратно со скоростью, модуль которой $v = 4{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите работу равнодействующей силы за все время полета мячика.

972. На неподвижное тело, лежащее на гладкой горизонтальной поверхности, начинает действовать в горизонтальном направлении сила, модуль которой $F = 2$ Н. Определите кинетическую энергию тела к тому моменту времени, когда оно переместится на $\Delta r = 2$ м.

© MICHAEL GAUTIER

973. Камешек массой $m = 50$ г упал с некоторой высоты. Определите кинетическую энергию камешка в средней точке его траектории, если он падал в течение времени $t = 2{,}0$ с. Сопротивлением воздуха пренебречь. Начальная скорость камешка $\vec{v}_0 = \vec{0}$. Постройте график зависимости кинетической энергии камешка от времени его движения.

974. В каких случаях при прямолинейном движении с постоянным ускорением изменение кинетической энергии тела за первую секунду движения будет: а) больше; б) меньше; в) равно изменению кинетической энергии за вторую секунду?

975. Может ли изменяться кинетическая энергия тела, если равнодействующая сил, действующих на него, равна нулю?

976. Может ли кинетическая энергия тела оставаться неизменной, если равнодействующая сил, действующих на тело, отлична от нуля?

977. Аэросани движутся по горизонтальному заснеженному участку, а затем выезжают на обледенелую часть трассы, на которой коэффициент трения скольжения уменьшается в n раз. Во сколько раз необходимо уменьшить модуль скорости движения аэросаней на обледенелом участке, чтобы тормозные пути на обоих участках были одинаковыми?

978. Два автомобиля одинаковой массы одновременно трогаются с места и движутся равноускоренно. Во сколько раз средняя мощность одного автомобиля больше средней мощности другого, если за одно и то же время первый автомобиль достигает вдвое большей скорости, чем второй? Силой сопротивления движению автомобилей пренебречь.

979. Пуля массой $m = 5{,}0$ г, летевшая горизонтально со скоростью, модуль которой $v_0 = 800\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, пробивает доску и вылетает из нее со скоростью, модуль которой $v = 400\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите работу силы сопротивления доски, считая силу постоянной.

980. Горизонтально летящая с некоторой скоростью пуля попадает в песок и углубляется в него на $l_1 = 15$ см. На какую глубину войдет в песок пуля той же массы, если скорость ее движения будет вдвое больше? Считать, что сила сопротивления движению пули в песке не зависит от ее скорости.

© MICHAEL GAUTIER

981. Пуля, летящая горизонтально со скоростью $\vec{v}_0$, пробивает несколько одинаковых досок, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга. В какой по счету доске застрянет пуля, если ее скорость после прохождения первой доски $\vec{v}_1 = 0{,}9\vec{v}_0$? Считать, что сила сопротивления дерева движению пули не зависит от ее скорости. Силой тяжести пули пренебречь.

982. Хоккейная шайба, имея начальную скорость, модуль которой $v_0 = 6{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, проходит до удара о борт площадки путь $s_1 = 10$ м. Считая удар абсолютно упругим, коэффициент трения шайбы о лед $\mu = 0{,}1$, определите путь, пройденный шайбой после удара.

983. Брусок массой $m = 1{,}0$ кг поднимают по наклонной плоскости, прикладывая к нему горизонтальную силу, модуль которой $F = 2mg$. Коэффициент трения между бруском и наклонной плоскостью $\mu = 0{,}20$. Определите кинетическую энергию бруска на середине наклонной плоскости, если ее длина $l = 50$ см, высота $h = 30$ см. Начальная скорость движения бруска $\vec{v}_0 = \vec{0}$.

984. Однородная линейка длиной $l = 25$ см лежит на краю стола (рис. 173). Определите модуль минимальной скорости, которую нужно сообщить линейке, чтобы она упала со стола. Коэффициент трения между линейкой и поверхностью стола $\mu = 0{,}30$. Считать, что сила трения прямо пропорциональна длине той части линейки, которая находится на столе.

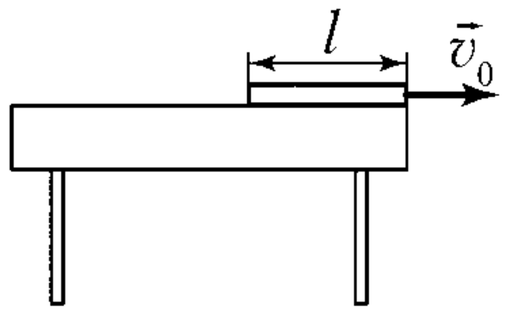


Рис. 173

985. Брусок, скользящий по гладкой горизонтальной поверхности со скоростью, модуль которой $v_0 = 2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, попадает на шероховатую поверхность с коэффициентом трения $\mu = 0{,}8$. При какой длине бруска его задняя грань остановится на границе гладкой и шероховатой поверхностей?

986. Однородный брусок длиной $l = 30$ см, равномерно скользящий по гладкой горизонтальной поверхности, выходит на шероховатый участок шириной $2l$ и останавливается у его правого края (рис. 174). Определите модуль скорости движения бруска на гладкой поверхности, если коэффициент трения скольжения бруска по шероховатой поверхности $\mu = 0{,}36$.

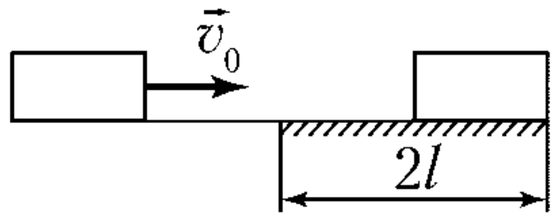


Рис. 174

© MICHAEL GAUTIER

26

Закон сохранения механической энергии

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу или закон
Механическая энергия тел замкнутой системы, в которой действуют только силы тяжести и упругости	$E_{мех} = E_к + E_п$	$E_{мех}$ — механическая энергия системы тел; $E_к$ и $E_п$ — кинетическая и потенциальная энергии всех тел, входящих в систему
Закон сохранения механической энергии	$E_{мех} = \text{const}$ $E_{к1} + E_{п1} = E_{к2} + E_{п2}$	$E_{мех}$ — механическая энергия замкнутой системы; $E_{к1} + E_{п1}$ — сумма кинетической и потенциальной энергий системы тел в момент времени t_1; $E_{к2} + E_{п2}$ — сумма кинетической и потенциальной энергий системы тел в момент времени t_2

987. Во сколько раз необходимо увеличить начальную скорость бросания вертикально вверх тела, чтобы максимальная высота его подъема увеличилась в $n = 4$ раза? **Сопротивлением воздуха в этой и последующих задачах пренебречь.**

988. Во сколько раз необходимо увеличить потенциальную энергию упругой деформации резинки детской рогатки, чтобы при выстреле вертикально вверх камешком его максимальная высота подъема увеличилась в $n = 4$ раза?

989. Лососям, идущим на нерест, приходится преодолевать водопады. Определите модуль минимальной скорости, с которой должен выпрыгнуть лосось из воды, чтобы преодолеть водопад высотой $h = 1{,}8$ м.

© MICHAEL GAUTIER

990. Шарик брошен с поверхности земли вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите: а) какой максимальной высоты достигнет шарик; б) на какой высоте кинетическая энергия шарика будет равна потенциальной; в) на какой высоте кинетическая энергия шарика уменьшится в $n = 5{,}0$ раза; г) каким будет модуль скорости движения шарика на высоте $h = 15$ м. Потенциальную энергию на поверхности земли принять равной нулю.

991. Камень массой $m = 600$ г брошен вертикально вниз со скоростью, модуль которой $v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, с высоты $h = 30$ м над поверхностью земли. На какой высоте над поверхностью земли кинетическая энергия камня увеличится вдвое? Какой будет кинетическая энергия камня в момент касания земли?

992. На рисунке 175 представлена траектория движения спортивного ядра, брошенного под углом к горизонту. Сравните: а) кинетическую энергию ядра в точках A, B и C; б) потенциальную энергию ядра в точках A, B и C; в) полную механическую энергию ядра в точках A, B и C.

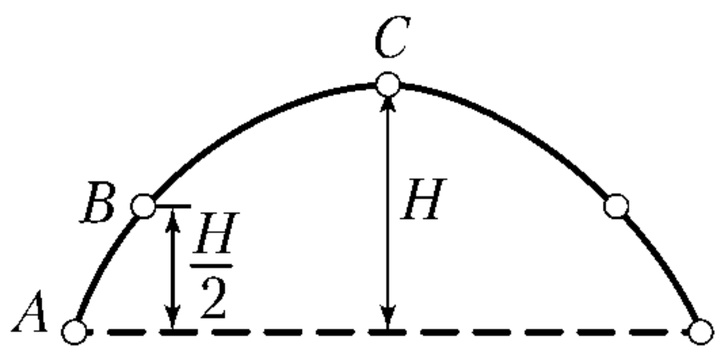


Рис. 175

993. Гимнаст массой $m = 50$ кг, оттолкнувшись от батута, летит вертикально вверх с начальной скоростью, модуль которой $v_0 = 8{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Постройте графики зависимости кинетической энергии, потенциальной энергии и полной механической энергии гимнаста от высоты его полета вверх.

994. Движение ластика, брошенного учеником вертикально вверх, описывается уравнением $y = A + Bt + Ct^2$, где $A = 1{,}2$ м, $B = 1{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $C = -5{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите механическую энергию ластика в начальный момент времени, а также его кинетическую и потенциальную энергию через время $t = 0{,}50$ с. Масса ластика $m = 8{,}0$ г.

© MICHAEL GAUTIER

995. На легкой нерастяжимой нити длиной $l = 20$ см подвешен шар. Определите модуль минимальной скорости, которую нужно сообщить шару в горизонтальном направлении, чтобы он отклонился до высоты, на которой расположена точка подвеса.

996. Определите модуль минимальной горизонтальной скорости, которую надо сообщить шарику, чтобы он сделал полный оборот в вертикальной плоскости, если он висит на: а) жестком невесомом стержне длиной l; б) легкой нерастяжимой нити длиной l.

997. Легкий стержень длиной $l = 0{,}8$ м с закрепленными на его концах медными грузами массами $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 3$ кг может вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через середину стержня. Стержень приводят в горизонтальное положение и отпускают. Определите модуль скорости движения грузов в тот момент, когда стержень проходит вертикальное положение.

998. Легкий стержень с металлическим шариком массой $m = 0{,}20$ кг, закрепленным на одном из его концов, может вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через другой конец стержня. Из состояния, когда шарик находится в верхнем положении, стержень отпускают. Определите модуль силы упругости, действующей на шарик в тот момент, когда он проходит положение равновесия.

999. Легкий стержень длиной $l = 1{,}5$ м с закрепленными на его концах небольшими одинаковыми грузами может вращаться вокруг горизонтальной оси. Ось проходит через точку стержня, которая делит его длину в отношении 1 : 2. Определите модуль минимальной горизонтальной скорости, которую надо сообщить нижнему грузу, когда стержень находится в положении равновесия, чтобы он сделал полный оборот.

1000. Невесомый стержень длиной l может вращаться в вертикальной плоскости вокруг оси, проходящей через один из его концов. К середине стержня и его свободному концу прикреплены грузы одинаковой массы. Вначале стержень расположен горизонтально. Затем его отпускают. Определите модуль скорости движения каждого груза в нижних точках их траекторий.

1001. Небольшой груз массой $m_1 = 300$ г прикреплен к концу веревки длиной $l = 70$ см и массой $m_2 = 100$ г, лежащей на гладком горизонтальном столе (рис. 176). Под дей-

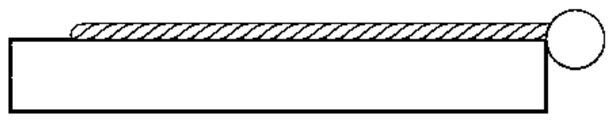


Рис. 176

© MICHAEL GAUTIER

ствием веса груза веревка начинает соскальзывать со стола без начальной скорости. Определите модуль скорости движения веревки в тот момент, когда ее свободный конец соскользнет со стола.

1002. Гибкий тяжелый трос длиной l и массой m_1 перекинут через неподвижный блок, масса и радиус которого пренебрежимо малы. Трос находится в равновесии. К концу троса подвешивают груз массой m_2, и трос начинает соскальзывать с блока с ускорением. Определите модуль скорости движения троса в момент его отрыва от блока. Силой трения пренебречь.

1003. Вагон массой $m = 2 \cdot 10^4$ кг, двигаясь со скоростью, модуль которой $v = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, упирается в вертикальную стенку, в результате чего сжимаются две параллельные буферные пружины жесткостью $k = 1 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ каждая. Определите максимальную деформацию пружин.

1004. Во сколько раз изменится скорость вылета пули из пружинного пистолета при выстреле в горизонтальном направлении:

а) при увеличении сжатия пружины в $n = 4$ раза;

б) при замене пружины другой, жесткость которой в $n = 4$ раза больше;

в) при увеличении массы пули в $n = 4$ раза?

1005. Груз массой $m = 1{,}0$ кг подвешен к легкой пружине жесткостью $k = 200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Груз приподнимают в положение, в котором пружина становится недеформированной, и отпускают без начальной скорости. Определите максимальную деформацию пружины.

1006. Шарик массой $m = 100$ г свободно без начальной скорости падает с высоты $h = 2{,}9$ м на вертикально расположенную легкую пружину. Максимальное сжатие пружины $\Delta l_{\max} = 10$ см. Определите жесткость пружины. Первоначальная высота h шарика отсчитывается от верхнего конца недеформированной пружины.

1007. Невесомая пружина жесткостью k располагается вертикально. Шар массой m, находящийся над пружиной на расстоянии h от ее верхнего конца, отпускают без начальной скорости. Определите максимальную кинетическую энергию шара.

© MICHAEL GAUTIER

1008. Груз массой m = 1,6 кг подвешен на невесомой пружине жесткостью $k = 250\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Грузу сообщают начальную скорость, направленную вертикально вниз. При этом максимальное расстояние, на которое опускается груз, $l = 0{,}08$ м. Определите модуль начальной скорости, сообщенной грузу.

1009. К перекладине привязан легкий резиновый шнур, свободный конец которого находится на высоте h над полом. Если подвесить к нему небольшой тяжелый груз, то удлинение шнура составляет $\Delta l = \frac{h}{3}$. На какую наименьшую высоту над полом надо поднять груз, чтобы после того, как его отпустят ($v_0 = 0$), он коснулся пола? Каким будет ответ в задаче при замене резинового шнура легкой пружиной, которую можно и сжимать, и растягивать?

1010. Груз массой m = 1,6 кг подвешен на упругом резиновом шнуре жесткостью $k = 250\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Грузу сообщают начальную скорость, модуль которой $v_0 = 1{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, направленную вертикально вверх. На какую максимальную высоту (отсчитывая от начальной точки) поднимется груз?

1011. Шарик, подвешенный на невесомой нерастяжимой нити длиной l = 1,6 м, выводят из положения равновесия и отпускают. Определите модуль максимальной скорости движения шарика, если: а) высота, на которую отклонили шарик, h = 45 см; б) угол отклонения нити от вертикали $\alpha = 60°$.

1012. Маленький шарик массой m = 0,20 кг привязан к нерастяжимой невесомой нити, другой конец которой закреплен. Нить приводят в горизонтальное положение и отпускают без начальной скорости. Чему равен модуль силы натяжения нити в тот момент, когда она составляет угол $\alpha = 60°$ с вертикалью?

1013. На легкой нерастяжимой нити подвешен маленький шарик. На какой угол надо отвести нить от вертикального положения, чтобы при последующих движениях шарика на нити модуль макси-

© MICHAEL GAUTIER

мальной силы натяжения нити был бы в $n = 4$ раза больше модуля минимальной?

1014. Тяжелый шарик, подвешенный на легкой нерастяжимой нити длиной $l = 50$ см, совершает колебания в вертикальной плоскости. Крайнее положение шарика на $h = 20$ см выше нижнего. Во сколько раз отличаются модули максимальной и минимальной силы натяжения нити в процессе движения шарика?

1015. Небольшой шарик подвешен на легкой нерастяжимой нити длиной $l = 1$ м. Шарику сообщают горизонтальную скорость, и он вращается в вертикальной плоскости. В верхней точке траектории модуль скорости движения шарика $v = 5\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Сравните модули силы натяжения нити в те моменты, когда шарик проходит нижнюю и верхнюю точки траектории.

1016. С верхней точки закрепленной на горизонтальной поверхности гладкой сферы начинает соскальзывать небольшая шайба (рис. 177). На какой высоте она оторвется от сферической поверхности, если радиус сферы равен R, масса шайбы m? Определите зависимость модуля силы нормального давления шайбы на поверхность сферы от угла α.

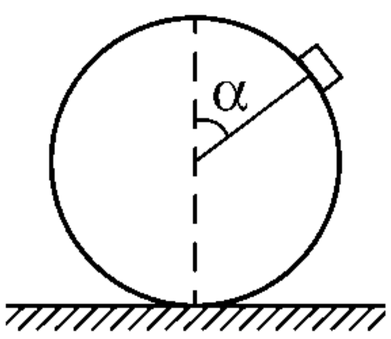


Рис. 177

1017. Небольшая шайба может скользить по гладкому наклонному желобу, переходящему в кольцо (рис. 178) радиусом $R = 20$ см. Определите: а) минимальную высоту h_1 наклонного желоба, при которой шайба сможет совершить полный оборот в кольце; б) высоту h_2 (от нижней точки кольца), на которой модуль силы давления шайбы на кольцо в $k = 1{,}5$ раза больше модуля действующей на шайбу силы тяжести, если шайба начнет движение с высоты h_1.

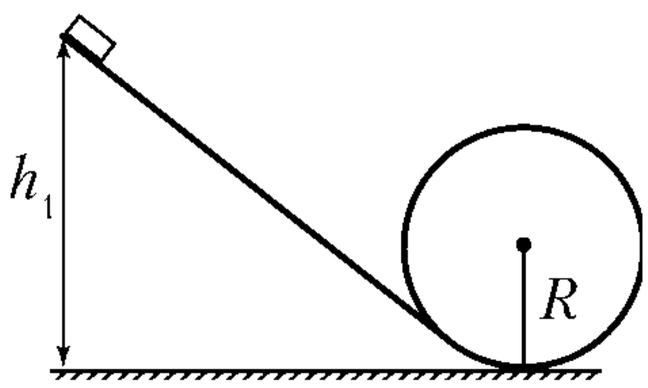


Рис. 178

1018. Система состоит из двух одинаковых кубиков массой m каждый, между которыми находится сжатая невесомая пружина (рис. 179) жесткостью k. Кубики связаны невесомой нитью. При каком минимальном начальном сжатии пружины нижний кубик оторвется от опоры, если нить пережечь?

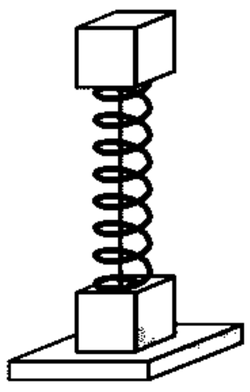


Рис. 179

© MICHAEL GAUTIER

1019. Летящий горизонтально шарик упруго ударяется о поверхность гладкого клина и отскакивает вертикально вверх (рис. 180). Масса клина в $n = 6{,}0$ раза больше массы шарика. На какую максимальную высоту поднимется шарик от точки удара, если модуль скорости движения клина после удара $v = 1{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$?

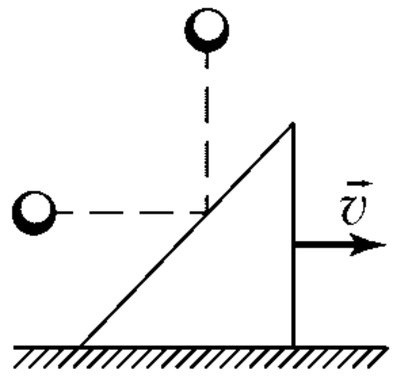


Рис. 180

1020. С вершины гладкого клина высотой $h = 88$ см и массой $m_1 = 2{,}0$ кг, стоящего на гладкой горизонтальной поверхности, начала соскальзывать шайба массой $m_2 = 0{,}2$ кг. Определите модуль скорости движения шайбы в момент, когда она окажется на горизонтальной поверхности.

1021. Шайба массой m_1 и гладкая горка массой m_2 находятся на гладкой горизонтальной поверхности. Шайбе в горизонтальном направлении сообщили начальную скорость, модуль которой v_0 (рис. 181). Определите относительно поверхности максимальную потенциальную энергию, которой будет обладать шайба, поднявшись на горку.

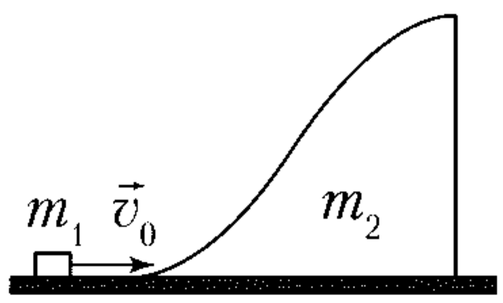


Рис. 181

1022. На гладкую горизонтальную поверхность вплотную к стенке поставили брусок массой $m_1 = 0{,}95$ кг с углублением полусферической формы радиусом $R = 40$ см. С верхней точки левой части бруска (рис. 182) без начальной скорости отпустили маленькую гладкую шайбу массой $m_2 = 50$ г. Определите максимальную высоту, на которую поднимется шайба на правой половине бруска.

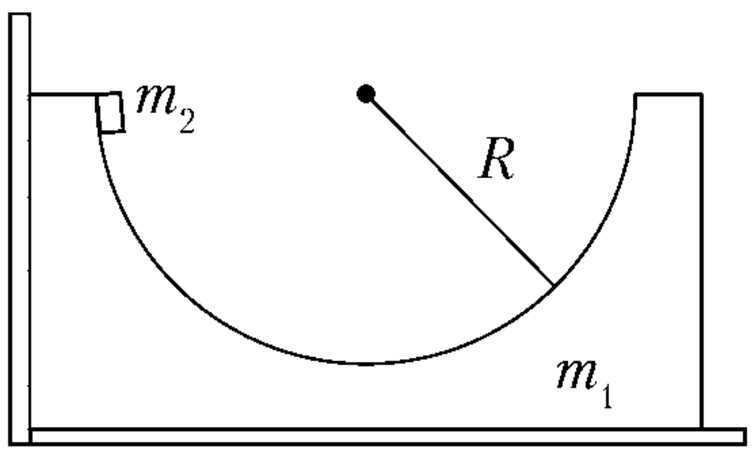


Рис. 182

1023. На гладкой горизонтальной поверхности покоятся два гладких бруска массой $m_1 = 320$ г и высотой $H = 50$ см каждый. С вершины одного из брусков отпускают без начальной скорости маленький кубик (рис. 183) массой $m_2 = 80$ г. Определите максимальную высоту, на которую поднимется кубик по второму бруску.

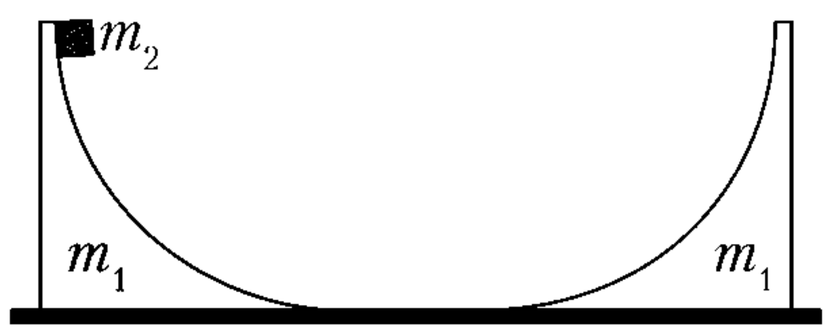


Рис. 183

© MICHAEL GAUTIER

1024. Определите, во сколько раз уменьшится скорость движения тележки массой m_1 после ее центрального упругого столкновения с неподвижной тележкой массой $m_2 = \frac{m_1}{4}$.

1025. Шар массой $m_1 = 2$ кг, модуль скорости движения которого $v_1 = 6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, абсолютно упруго сталкивается с неподвижным шаром массой $m_2 = 1$ кг. Определите модуль скорости движения каждого шара после центрального упругого удара.

1026. Два одинаковых по размеру шара висят на легких нитях, касаясь друг друга. Первый шар отводят в сторону и отпускают. После центрального упругого удара шары поднимаются на одинаковую высоту. Определите массу первого шара, если масса второго $m_2 = 0{,}6$ кг.

1027. Два небольших равных по объему шара висят на одинаковых легких нитях длиной $l = 0{,}50$ м, касаясь друг друга. Массы шаров относятся как 2 : 3. Легкий шар отклонили от положения равновесия так, что угол между нитью и вертикалью $\alpha = 90°$, и отпустили. На какую максимальную высоту поднимется тяжелый шар после центрального абсолютно упругого удара?

1028. Шар массой $m_1 = 3{,}0$ кг, движущийся со скоростью, модуль которой v, налетает на покоящийся шар и после абсолютно упругого столкновения отскакивает от него под углом $\alpha = 90°$ к первоначальному направлению своего движения со скоростью, модуль которой $\frac{v}{2}$. Определите массу второго шара. Поверхности шаров гладкие.

1029. Два шара массой $m = 2$ кг каждый покоятся на гладкой горизонтальной поверхности, касаясь друг друга. Третий шар налетает на них, двигаясь по прямой, проходящей через точку касания неподвижных шаров, перпендикулярно линии, соединяющей их центры. Чему равна масса третьего шара, если после абсолютно упругого удара о неподвижные шары он остановился? Все шары гладкие и имеют одинаковые радиусы.

1030. К концам невесомой пружины, лежащей на гладкой горизонтальной поверхности, приставлены бруски, массы которых

© MICHAEL GAUTIER

$m_1 = 0{,}80$ кг и $m_2 = 0{,}20$ кг. Сначала бруски и пружину, сжатую между ними, удерживают так, что потенциальная энергия пружины $E_п = 90$ Дж, а затем одновременно отпускают их. Определите кинетическую энергию каждого бруска после того, как пружина перейдет в недеформированное состояние.

1031. Два бруска, массы которых $m_1 = 90$ г и $m_2 = 160$ г, соединенные упругой невесомой пружиной, лежат на гладкой горизонтальной поверхности. Бруски удерживают так, что пружина сжата, а ее абсолютное удлинение $\Delta l_1 = 70$ мм. Сначала отпускают первый брусок, а в тот момент, когда пружина перешла в недеформированное состояние, отпускают и второй. Определите максимальную деформацию пружины в процессе дальнейшего движения.

1032. На гладкой горизонтальной поверхности лежат два бруска, массы которых $m_1 = 100$ г и $m_2 = 400$ г, соединенные недеформированной невесомой пружиной. Первому бруску сообщают скорость, модуль которой $v_1 = 10{,}0 \frac{м}{с}$, в направлении второго бруска. Определите модуль максимальной скорости движения второго бруска.

1033. На гладкой горизонтальной поверхности лежат два бруска, массы которых $m_1 = 300$ г и $m_2 = 600$ г, соединенные недеформированной невесомой пружиной жесткостью $k = 500 \frac{Н}{м}$. В первый брусок абсолютно упруго ударяется шарик массой $m_0 = 100$ г, летевший горизонтально вдоль оси пружины со скоростью, модуль которой $v_0 = 12 \frac{м}{с}$. Определите максимальную абсолютную деформацию пружины в процессе дальнейшего движения.

1034. Две абсолютно упругие шайбы массой $m = 0{,}40$ кг каждая скользят по гладкой горизонтальной поверхности навстречу друг другу со скоростями, модули которых $v_1 = 10 \frac{м}{с}$ и $v_2 = 20 \frac{м}{с}$. Определите максимальное значение потенциальной энергии упругой деформации шайб при их центральном столкновении.

© MICHAEL GAUTIER

27

Изменение механической энергии

Физическая величина или закон	Формула	Физические величины, входящие в формулу или закон
Изменение механической энергии системы	$\Delta E_{\text{мех}} = A_{\text{внеш}}$	$\Delta E_{\text{мех}}$ — изменение механической энергии системы тел; $A_{\text{внеш}}$ — работа внешних сил
Полная энергия системы	$E_{\text{полн}} = E_{\text{мех}} + E_{\text{внутр}}$	$E_{\text{полн}}$ — полная энергия замкнутой системы; $E_{\text{мех}}$ — механическая энергия системы; $E_{\text{внутр}}$ — внутренняя энергия системы
Закон сохранения энергии	$E_{\text{полн}} = \text{const}$	$E_{\text{полн}}$ — полная энергия замкнутой системы

1035. С крыши строящегося дома высотой $h = 30$ м упал лист рубероида массой $m = 4{,}0$ кг. В момент касания земли модуль скорости движения листа был равен $v = 54\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите работу, совершенную силой сопротивления воздуха.

1036. С балкона, находящегося на высоте $h = 6{,}0$ м над землей, девочка вертикально вниз бросила мяч массой $m = 0{,}20$ кг со скоростью, модуль которой $v_1 = 4{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Мяч упал на землю со скоростью, модуль которой $v_2 = 10{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите работу, совершенную силой сопротивления воздуха.

1037. Спустившись с горы, санки проходят по горизонтальной поверхности путь $l = 9$ м и останавливаются. Определите модуль скорости движения санок у основания горы, если коэффициент трения между санками и горизонтальной поверхностью $\mu = 0{,}2$.

1038. Брусок двигался по горизонтальной поверхности с постоянной скоростью, модуль которой $v_0 = 7{,}2\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Дойдя до наклонной

© MICHAEL GAUTIER

плоскости, брусок по плоскости поднялся на высоту $h = 5{,}0$ см и остановился. Во сколько раз уменьшилась механическая энергия бруска за время подъема? В чем причина изменения механической энергии бруска?

1039. Какой кинетической энергией обладало тело массой $m = 0{,}5$ кг у основания наклонной плоскости, если, двигаясь по плоскости, оно поднялось на максимальную высоту $h_{max} = 1$ м? Коэффициент трения между телом и плоскостью $\mu = 0{,}2$. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 45°$.

1040. С наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 45°$ с горизонтом, с высоты $h_1 = 1{,}0$ м соскальзывает без начальной скорости небольшая шайба (рис. 184). В конце спуска у основания наклонной плоскости шайба абсолютно упруго ударяется о стенку и поднимается вверх по наклонной плоскости. На какую высоту поднимется шайба после удара, если коэффициент ее трения о плоскость $\mu = 0{,}25$?

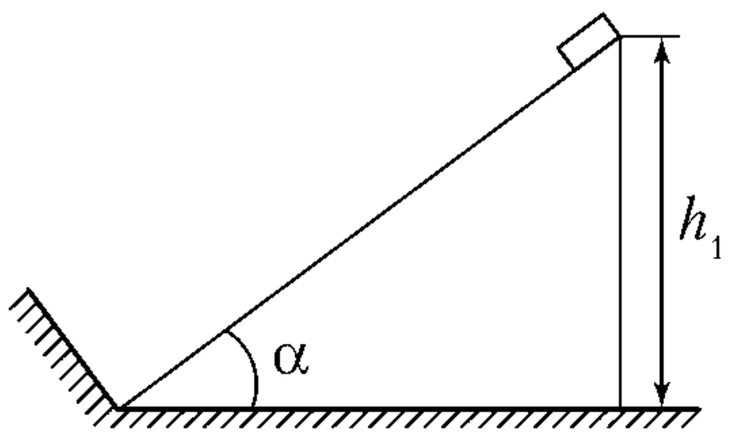


Рис. 184

1041. На наклонной плоскости, синус угла наклона к горизонту которой равен 0,28 ($\sin\alpha = 0{,}28$), на высоте $h = 2{,}1$ м лежит небольшая шайба. Коэффициент трения шайбы о плоскость $\mu = 0{,}50$. Определите модуль минимальной скорости, которую надо сообщить шайбе вниз вдоль наклонной плоскости, чтобы после абсолютно упругого удара об упор, находящийся у основания плоскости, шайба вернулась в исходную точку.

1042. С горы высотой $h = 20$ м и длиной основания $l = 50$ м съезжают санки, которые останавливаются, пройдя по горизонтальной поверхности некоторый путь. Чему равен этот путь, если коэффициент трения на всем пути $\mu = 0{,}20$?

1043. Брусок массой $m = 3{,}0$ кг, лежащий на горизонтальной плоскости, соединен с вертикальной стеной недеформированной невесомой пружиной. Ось пружины горизонтальна, ее жесткость $k = 54 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, коэффициент трения между бруском и плоскостью $\mu = 0{,}30$. Определите модуль минимальной скорости, которую надо

© MICHAEL GAUTIER

сообщить бруску вдоль оси пружины, чтобы он вернулся в начальную точку.

1044. В деревянный брусок массой m_1, лежащий на гладком столе, попадает пуля массой m_2, летящая горизонтально со скоростью, модуль которой равен v. На сколько углубится пуля в брусок, если модуль силы сопротивления дерева движению пули в бруске равен F_c?

1045. Деревянный брусок массой $m = 0{,}49$ кг лежит на горизонтальной плоскости и соединен с вертикальной стеной недеформированной невесомой пружиной. Ось пружины горизонтальна, жесткость пружины $k = 0{,}18 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$. Пуля массой $m_0 = 10$ г, скорость которой параллельна оси пружины, попадает в брусок и застревает в нем. В результате пружина сжимается на $|\Delta l| = 10$ см. Определите модуль скорости движения пули перед попаданием в брусок. Коэффициент трения между бруском и плоскостью $\mu = 0{,}20$.

1046. Брусок массой $m = 0{,}5$ кг лежит на наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол, синус которого равен 0,6 ($\sin\alpha = 0{,}6$). Брусок соединен с вершиной наклонной плоскости недеформированной невесомой пружиной жесткостью $k = 64 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Определите модуль скорости, которую надо сообщить бруску вдоль плоскости вверх, чтобы он вернулся и остановился в начальной точке. Коэффициент трения бруска о плоскость $\mu = 0{,}8$.

1047. Небольшой шарик массой m брошен вертикально вниз с высоты H. При падении он уходит в песок на глубину h. Определите модуль средней силы сопротивления песка, если модуль начальной скорости движения шарика равен v_0. Сопротивлением воздуха пренебречь.

1048. Два одинаковых бруска массой $m = 5$ кг каждый соединены недеформированной невесомой пружиной жесткостью $k = 15 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ и лежат на горизонтальной плите. Определите модуль минимальной скорости, которую надо сообщить вдоль оси пружины одному из брусков, чтобы сдвинулся другой брусок. Коэффициент трения каждого бруска о плиту $\mu = 0{,}1$.

© MICHAEL GAUTIER

1049. Два бруска, массы которых $m_1 = 3$ кг и $m_2 = 2$ кг, лежат на полу, соединенные невесомой пружиной жесткостью $k = 0{,}2\ \frac{\text{кН}}{\text{м}}$. Бруски удерживают так, что пружина находится в сжатом состоянии. Сначала отпускают первый брусок, а в тот момент, когда пружина не деформирована, отпускают и второй. При какой минимальной начальной деформации пружины второй брусок сдвинется с места? Коэффициент трения о пол первого бруска $\mu_1 = 0{,}2$, второго — $\mu_2 = 0{,}3$.

1050. На гладкой горизонтальной поверхности лежит доска длиной $l = 2{,}5$ м, на одном конце которой находится маленький брусок. Определите модуль минимальной скорости, которую надо сообщить бруску, чтобы он достиг другого конца доски. Масса доски в $n = 4$ раза больше массы бруска, коэффициент трения между бруском и доской $\mu = 0{,}4$.

1051. Маленькая шайба соскальзывает по наклонной плоскости с высоты $h = 1{,}2$ м. Наклонная плоскость переходит в «мертвую петлю» (рис. 185). Определите работу силы трения при скольжении шайбы с начальной точки до верхней точки «петли». Известно, что сила, с которой шайба действует на «петлю» в верхней точке, равна нулю. Масса шайбы $m = 10$ г, радиус петли $R = 0{,}4$ м.

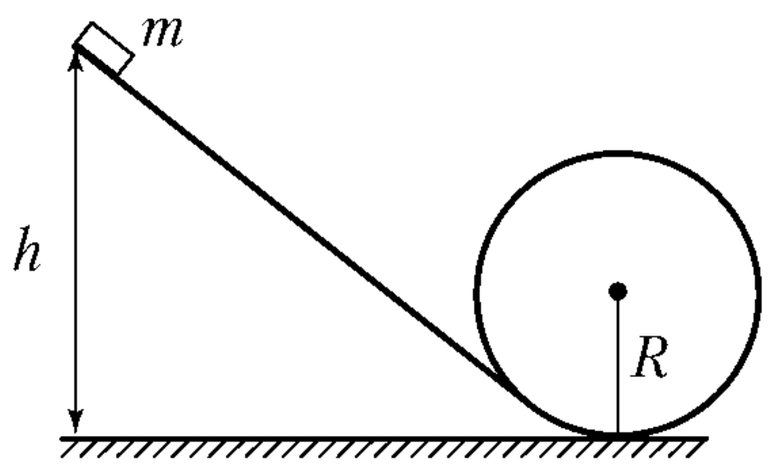


Рис. 185

1052. Шарик массой $m = 0{,}10$ кг свободно падает без начальной скорости с высоты $h_1 = 2$ м на стальную плиту и отскакивает после удара до высоты $h_2 = 1$ м. Определите энергию, перешедшую при ударе во внутреннюю.

1053. Мяч массой $m = 0{,}10$ кг отпустили без начальной скорости с высоты $h = 2{,}0$ м от уровня пола. Чему равно количество теплоты, выделившееся при первом ударе мяча о пол, если время между первым и вторым ударами мяча о пол $t = 1{,}2$ с? Сопротивлением воздуха пренебречь.

1054. С верхней точки наклонной плоскости длиной $l = 1{,}8$ м, образующей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом, скользит кубик массой $m = 2{,}0$ кг. Какое количество теплоты выделяется при трении кубика о плоскость, если начальная скорость движения кубика равна нулю, а модуль скорости его движения у основания наклонной плоскости $v = 3{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$?

© MICHAEL GAUTIER

1055. Шар массой $m = 4{,}0$ кг, модуль скорости движения которого $v = 5{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, сталкивается с покоящимся шаром такой же массы. После абсолютно неупругого столкновения шары движутся с одинаковыми скоростями. Какое количество теплоты выделилось при столкновении?

1056. Шары массами $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 2$ кг движутся навстречу друг другу со скоростями, модули которых соответственно равны $v_1 = 1\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $v_2 = 2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите количество теплоты, выделившееся при абсолютно неупругом столкновении этих шаров.

1057. Брусок массой m_1 двигался по гладкой горизонтальной поверхности со скоростью, модуль которой v_1. Пуля массой m_2, летевшая в горизонтальном направлении со скоростью, модуль которой v_2 (причем $\vec{v}_2 \perp \vec{v}_1$), попала в брусок и застряла в нем. Определите, какое количество теплоты выделилось в бруске.

1058. Два одинаковых шара движутся по взаимно перпендикулярным направлениям со скоростями, модули которых отличаются в 2 раза, и абсолютно неупруго сталкиваются друг с другом. Какая часть кинетической энергии системы шаров при их столкновении переходит в теплоту?

1059. Два шара массами m и $2m$ движутся по взаимно перпендикулярным направлениям со скоростями, имеющими одинаковые модули. После столкновения шар меньшей массы остановился. Какая часть кинетической энергии шаров при ударе перешла в теплоту?

1060. Два пластилиновых шарика, массы которых относятся как 1 : 3, подвешены на невесомых нерастяжимых нитях одинаковой длины и касаются друг друга. Шарики на нитях отклоняют в противоположные стороны на одинаковые углы и отпускают. Какая часть механической энергии перейдет в тепловую при неупругом ударе?

1061. Два одинаковых свинцовых шара движутся навстречу друг другу со скоростями, модули которых равны v_1 и v_2. Определите изменение температуры шаров после их центрального абсолютно неупругого столкновения. Удельная теплоемкость свинца c. Систему шаров считать замкнутой.

© MICHAEL GAUTIER

1062. Две частицы массами m и $2m$, обладающие импульсами, модули которых соответственно p и $\frac{p}{2}$, движутся по взаимно перпендикулярным направлениям. После соударения частицы обмениваются импульсами. Модуль импульса первой частицы становится равным $\frac{p}{2}$, второй — p. Определите величину потерянной механической энергии частиц при их соударении.

1063. Тележка с песком массой $m_1 = 50$ кг движется со скоростью, модуль которой $v_1 = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, по гладкой горизонтальной поверхности. На тележку с высоты $h = 20$ см падает груз массой $m_2 = 50$ кг и застревает в песке. Определите количество выделившейся теплоты.

1064. Шар массой $m_0 = 250$ г висит на невесомой нити длиной $l = 50$ см. В него попадает и застревает в нем горизонтально летящая пуля массой $m = 10$ г. Каким должен быть модуль минимальной скорости движения пули, чтобы шар с пулей смог совершить полный оборот в вертикальной плоскости? Сопротивлением воздуха пренебречь.

1065. В шар массой $m_1 = 700$ г, висящий на легком стержне, попадает пуля массой $m_2 = 10{,}0$ г, летящая горизонтально. Пуля застревает в шаре, после чего он поднимается на высоту $h = 20{,}0$ см от своего начального положения. Определите модуль скорости движения пули до попадания в шар. Сопротивлением воздуха пренебречь.

1066. Два шара подвешены на нерастяжимых невесомых нитях одинаковой длины так, что они соприкасаются. Шар меньшей массы отводят в сторону на высоту $h_1 = 50$ см и отпускают. На какую максимальную высоту поднимутся шары после абсолютно неупругого столкновения? Отношение масс шаров $n = 1{,}5$. Сопротивлением воздуха пренебречь.

1067. Брусок массой $m = 90$ г лежит на гладкой горизонтальной плоскости и соединен с вертикальной плоскостью легкой недеформированной пружиной. Ось пружины горизонтальна, ее жесткость $k = 4{,}0\ \frac{\text{кН}}{\text{м}}$. В брусок попадает и застревает в нем пуля массой

© MICHAEL GAUTIER

$m_0 = 10$ г. Скорость пули параллельна оси пружины, модуль этой скорости $v_0 = 100 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Чему равна максимальная деформация пружины?

1068. Небольшой кубик массой $m = 0{,}99$ кг лежит на вершине гладкой полусферы радиусом $R = 1{,}00$ м. В кубик попадает пуля массой $m_0 = 10$ г, летящая горизонтально со скоростью, модуль которой $v_0 = 200 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, и застревает в нем. Пренебрегая смещением кубика за время удара, определите высоту, на которой он оторвется от поверхности полусферы.

1069. На полу лежит брусок массой $m = 250$ г, соединенный с вертикальной стеной недеформированной легкой пружиной. Ось пружины горизонтальна, ее жесткость $k = 100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. На брусок начинает действовать постоянная сила, модуль которой $F = 3{,}0$ Н, направленная от стены вдоль оси пружины. Определите максимальную деформацию пружины и модуль максимальной скорости бруска для случаев: а) пол гладкий; б) коэффициент трения бруска по полу $\mu = 0{,}4$.

1070. На горизонтальной плоскости лежат два бруска массами $m_1 = 3{,}0$ кг и $m_2 = 8{,}0$ кг, соединенные недеформированной легкой пружиной. Определите модуль наименьшей горизонтальной силы, с которой надо действовать на первый брусок, чтобы сдвинулся с места и второй, для случаев: а) коэффициент трения брусков о плоскость $\mu = 0{,}20$; б) коэффициенты трения брусков о плоскость соответственно $\mu_1 = 0{,}20$ и $\mu_2 = 0{,}15$.

1071. Спортсмен, двигаясь на роликовых коньках с ядром в руках, толкнул его в направлении своего движения, в результате чего остановился. Начальная скорость движения ядра направлена под углом $\alpha = 30°$ к горизонту, ее модуль $v_2 = 8{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Какую работу совершил спортсмен, если его масса $m_1 = 70$ кг, масса ядра $m_2 = 10$ кг?

© MICHAEL GAUTIER

1072. Летящий снаряд разорвался на два осколка, угол между скоростями движения которых составил $\alpha = 60°$. Один осколок имел массу $m_1 = 20$ кг и модуль скорости движения $v_1 = 100 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, другой — массу $m_2 = 80$ кг и модуль скорости движения $v_2 = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Чему равна энергия, выделившаяся при разрыве снаряда?

1073. По доске, наклоненной к горизонту под углом $\alpha = 45°$, равномерно поднимают на высоту $h = 2{,}0$ м ящик массой $m = 20$ кг, прикладывая к нему силу, направленную вдоль доски. Какое количество теплоты выделится при подъеме ящика, если коэффициент трения скольжения $\mu = 0{,}15$?

1074. На легкой пружине жесткостью $k = 50 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ к перекладине подвешен груз массой $m = 0{,}50$ кг. На груз начинает действовать постоянная сила, модуль которой $F = 10$ Н, направленная вертикально вниз. Определите модули максимального перемещения груза и максимальной скорости его движения.

1075. Груз массой $m = 2$ кг подвешен к потолку на упругом невесомом резиновом шнуре жесткостью $k = 250 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. На груз начинает действовать постоянная, направленная вертикально вверх сила, модуль которой $F = 5$ Н. На какую максимальную высоту (отсчитывая от начальной точки) поднимется груз?

1076. Шарик массой $m = 100$ г, висящий на невесомой нерастяжимой нити длиной $l = 40$ см, раскрутили так, что он начал двигаться по окружности в горизонтальной плоскости. Определите работу по раскручиванию, если при движении шарика нить образует с вертикалью постоянный угол $\alpha = 60°$.

1077. Легкий гладкий горизонтальный стержень может вращаться без трения вокруг вертикальной оси. На стержне находится небольшая муфточка массой m, соединенная легкой пружиной с осью в точке O (рис. 186). Длина недеформированной пружины l_0. Жесткость пружины k. Какую

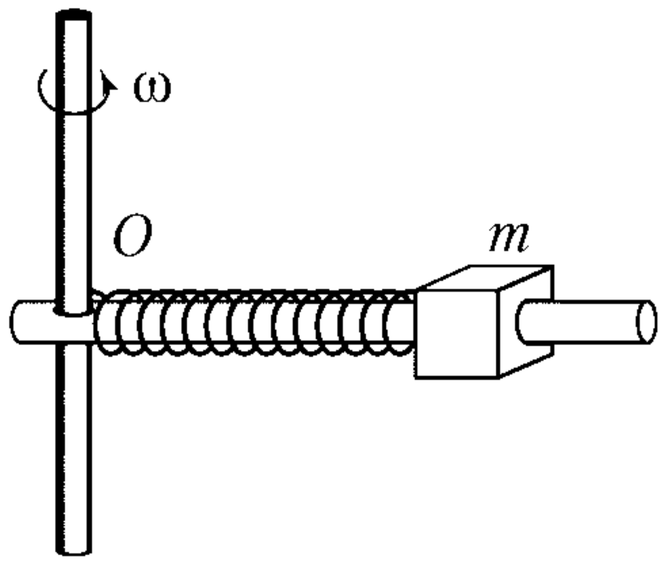


Рис. 186

© MICHAEL GAUTIER

работу нужно совершить, чтобы медленно раскрутить эту систему до угловой скорости ω?

1078. Деформация вертикальной легкой пружины, удерживающей груз (рис. 187), составляет $x_1 = 4{,}0$ см. Чтобы увеличить деформацию пружины до $x_2 = 6{,}0$ см, медленно надавливая на груз в вертикальном направлении, надо совершить работу $A = 0{,}30$ Дж. Определите жесткость пружины.

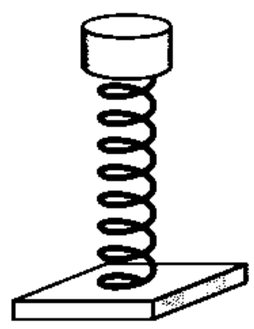


Рис. 187

1079. (э) Экспериментально подтвердите явление превращения механической энергии.

Оборудование: резиновый жгут ($l = 50$ см), груз, мерная лента, нить ($l = 50$ см).

© MICHAEL GAUTIER

Приложение 1

ЗАДАНИЯ, ПОЛЕЗНЫЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К УЧАСТИЮ В PISA[1]

Основы кинематики

1. Во время поиска планктона кит проплывает в восточном направлении путь $s_1 = 6{,}5$ км, затем разворачивается и проплывает на запад путь $s_2 = 1{,}8$ км, после чего снова плывет на восток и проплывает путь $s_3 = 3{,}7$ км. Определите путь, который проплыл кит, и его перемещение.

2. На карте (рис. 1) представлены три маршрута, описывающие, как добраться из Минска в Новогрудок на автомобиле. Определите кратчайший маршрут. Определите модуль перемещения автомобиля. Необходимое оборудование подберите самостоятельно.

Рис. 1

[1] PISA — Programme for International Student Assessment.

© MICHAEL GAUTIER

3. Воскресным днем семья вышла на прогулку вокруг круглого озера, радиус которого $R = 1{,}50$ км. За время прогулки семья прошла три четверти пути вокруг озера, начав движение с его западной стороны и направляясь на юг. Определите путь, который прошла семья, а также ее перемещение.

4. За превышение средней или мгновенной скорости водитель должен уплатить штраф? Ответ поясните.

5. Направляясь в отпуск в Сочи, пассажир прибывает в аэропорт с опозданием, в 12 ч 26 мин. Его самолет согласно расписанию должен отправиться в 12 ч 40 мин. До места посадки пассажиру необходимо преодолеть путь $s = 2{,}1$ км. Определите модуль минимальной средней скорости движения пассажира, чтобы он успел к моменту отправления самолета.

6. Белорусские гребцы неоднократно побеждают на международных соревнованиях по гребле на байдарках и каноэ. Успехам спортсменов способствуют упорные тренировки, которые они проводят на озерах, реках или каналах (рис. 2). Спортсмен может грести на каноэ в стоячей воде со скоростью, модуль которой $v_1 = 15\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определите модуль скорости, с которой будет двигаться спортсмен относительно берега, если он будет плыть на каноэ против течения воды, модуль скорости которой $v_2 = 1{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

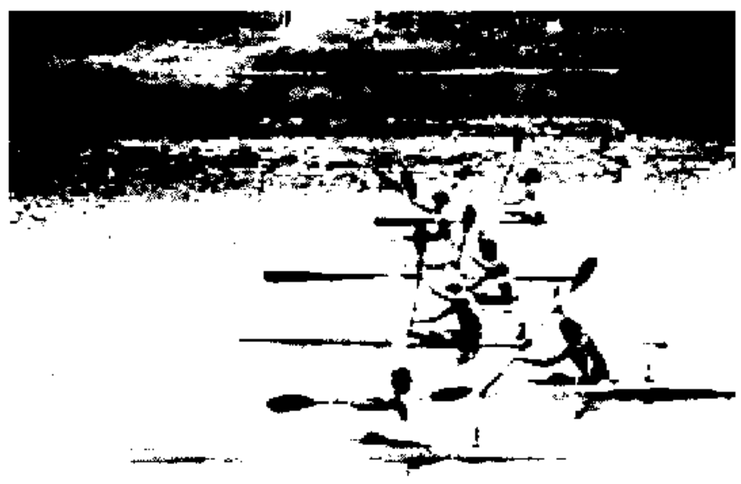


Рис. 2

7. На рисунке 3 представлены положения равноускоренно движущегося игрушечного автомобиля через время $t = 1{,}0$ с. С каким ускорением двигался автомобиль? Определите скорость движения автомобиля через время $t_1 = 4{,}0$ с.

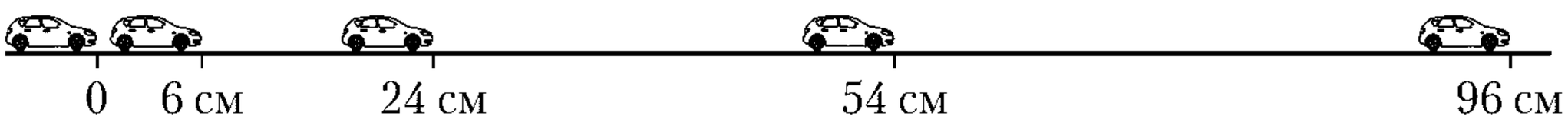


Рис. 3

8. По утрам Саша выходит на прогулку с собакой и идет до ближайшего сквера, расположенного напротив дома. На рисунке 4 показано, как они двигались во время прогулки.

© MICHAEL GAUTIER

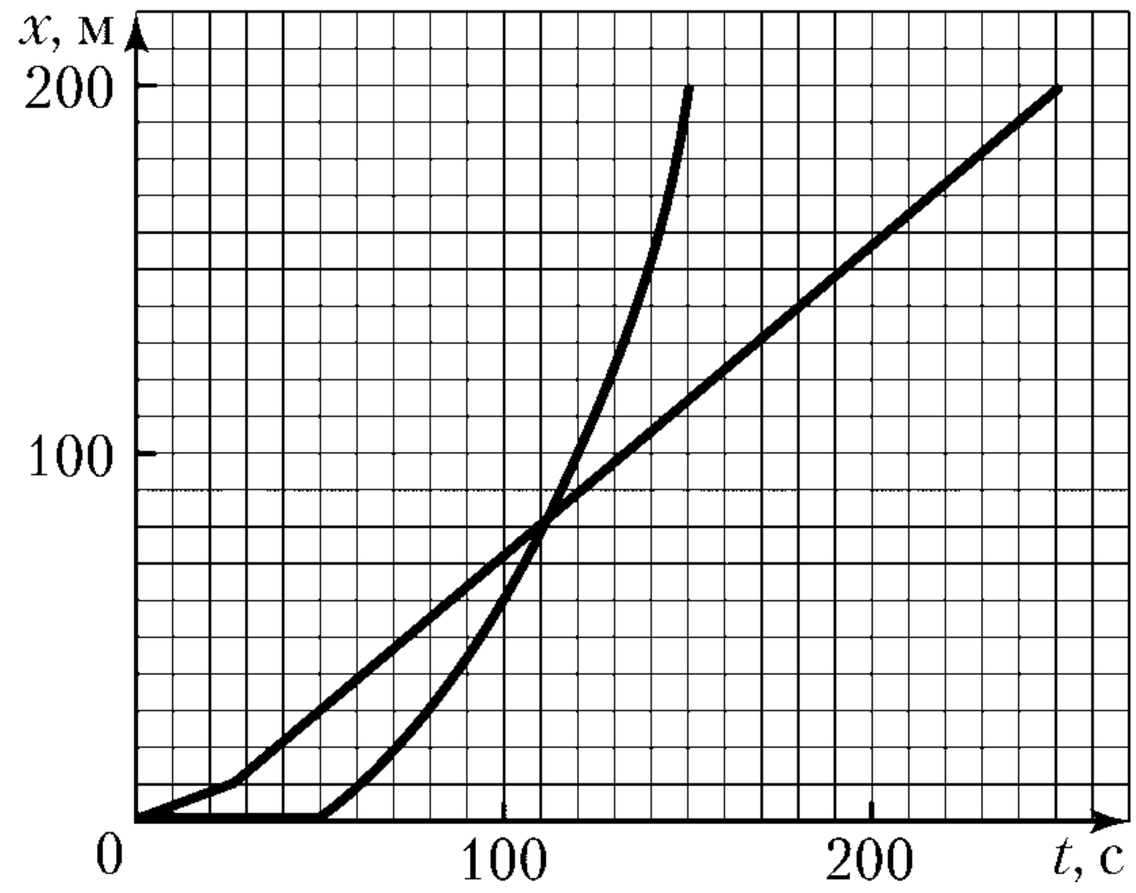


Рис. 4

Определите:

а) расстояние до сквера;

б) через какое время собака обогнала Сашу;

в) на каком расстоянии от дома собака обогнала Сашу;

г) за какое время собака пробежала расстояние до сквера;

д) модуль средней скорости движения Саши на всей дистанции;

е) возрастала, убывала или оставалась постоянной скорость движения Саши на второй половине дистанции;

ж) возрастала, убывала или оставалась постоянной скорость движения собаки на второй половине дистанции.

9. Таня утверждает, что ускорение — это величина, показывающая, как быстро ты идешь. Олег говорит, что ускорение показывает, насколько быстро ты останавливаешься. Что думаете по этому поводу вы? Кто из ребят прав?

10. Автомобиль движется с постоянным модулем скорости по трассе, которая изображена на рисунке 5. Участки AB и DE — прямые. Сравните ускорение автомобиля на каждом участке трассы, начиная с наименьшего. Объясните свое решение.

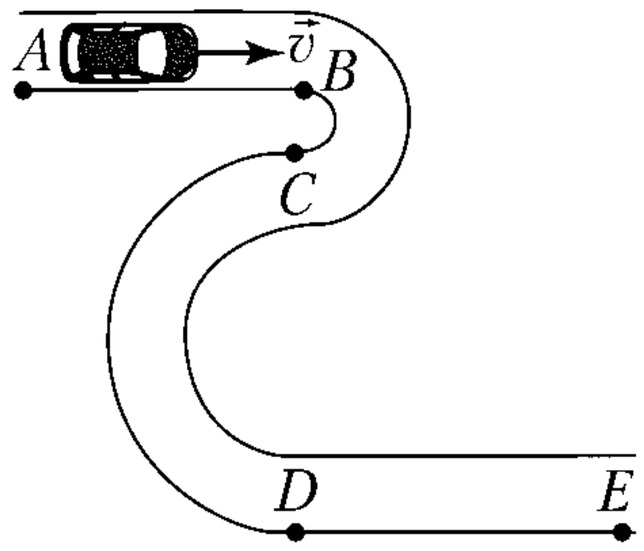


Рис. 5

11. Одна из пользующихся наибольшей популярностью среди зрителей дисциплин на зимней Олимпиаде — это бобслей. Этот вид спорта представляет собой скоростной спуск по искусственно со-

© MICHAEL GAUTIER

зданному обледенелому желобу на специальных управляемых санях — бобах. Бобслей — один из самых скоростных и зрелищных видов спорта в программе зимних олимпийских игр. Поклонники часто называют его зимней «Формулой-1», так как рекорд скорости в бобслее — $v = 153\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

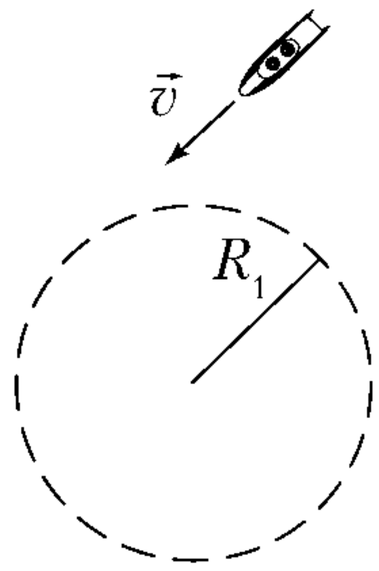


Рис. 6

Трасса для соревнований по бобслею представляет собой ледяной желоб с железобетонным основанием, имеющий различные по крутизне повороты и виражи (рис. 6). Длина трассы обычно колеблется в пределах 1500–2000 м, на ней обязательно должно быть 15 виражей с минимальным радиусом 8,0 м, радиусы отдельных виражей могут достигать 30,0 м.

Для безопасности экипажа боба модуль центростремительного ускорения на виражах не должен превышать значения $5g$ $\left(g = 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)$. Определите модули максимально допустимых скоростей движения боба на виражах. Сравните их с рекордом.

12. Можно ли по показаниям спидометра определить, движется автомобиль с ускорением или без, если он едет по: а) прямолинейному участку дороги; б) криволинейному участку дороги? Ответ аргументируйте.

Основы динамики

13. Ремни в автомобилях относятся к пассивной системе безопасности. Они предназначены для удержания людей в креслах в случае дорожно-транспортного происшествия или резкого торможения. Очень важно помнить, что ремень безопасности обеспечивает правильное положение тела при срабатывании подушек безопасности. На некоторых автомобилях при непристегнутых ремнях подушки блокируются, так как могут нанести травму.

Объясните, какое явление учитывается при использовании ремней безопасности.

© MICHAEL GAUTIER

14. Сравните равнодействующую силу, приложенную к автомобилю, если модуль его скорости изменился: а) от $v_1 = 54 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ до $v_2 = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$; б) от $v_3 = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ до $v_4 = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Время действия силы одинаковое. Ответ поясните.

15. Команда мальчиков выступает против команды девочек по перетягиванию каната. На ногах девочек кроссовки на резиновой гофрированной подошве, мальчиков — на кожаной. Какая команда выиграет? Почему? Нет ли здесь нарушения третьего закона Ньютона?

16. Спортсмен прыгает с парашютом из вертолета. Он не сразу открывает парашют. В таблице показаны значения модуля его скорости в течение $t = 9{,}0$ с после прыжка.

t, с	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
$v, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	0	10		30	40	25	17	12	10	10

Определите:

а) скорость парашютиста в момент времени $t = 2{,}0$ с;

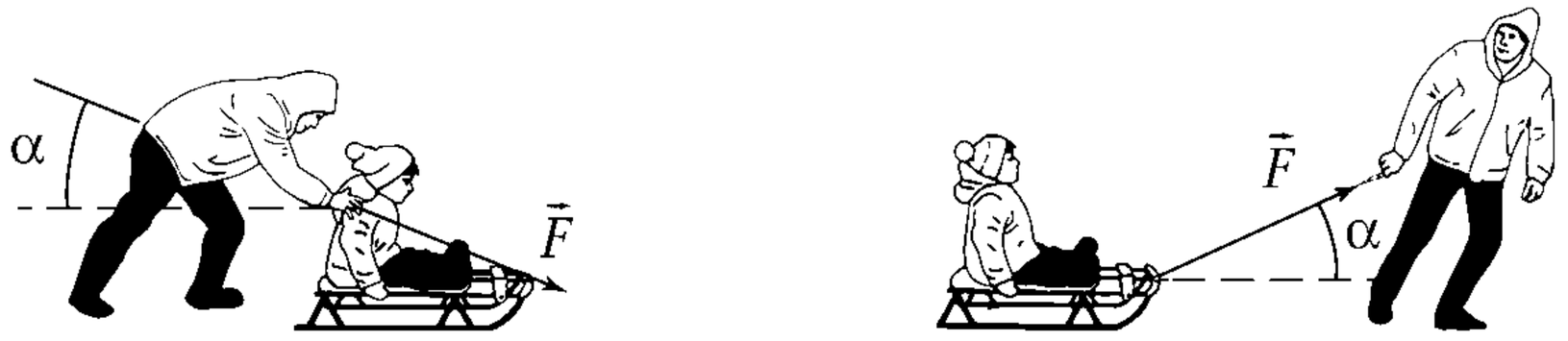
б) момент времени, когда спортсмен открыл парашют;

в) какая сила тянет спортсмена вниз;

г) какая сила действует вверх;

д) как соотносятся эти силы в моменты времени $t_1 = 3{,}0$ с, $t_2 = 6{,}0$ с, $t_3 = 9{,}0$ с.

17. Во время прогулки сын сел на санки и попросил отца его прокатить. У папы есть выбор, как это сделать: толкать или тянуть санки с постоянной скоростью, как показано на рисунке 7, *а*, *б*. В каком случае папа затратит меньше усилий? Угол α одинаковый в обоих случаях. Коэффициент трения скольжения считать одинаковым в обоих случаях.



а *б*

Рис. 7

© MICHAEL GAUTIER

18. Ассортимент спортивной обуви в магазинах огромен. Однако при выборе подходящей модели следует сосредоточить внимание на том, для чего именно предназначена обувь: для бега по шоссе, специальному треку или, возможно, лесной тропе. Для всех этих поверхностей требуются различные виды обуви (с различным рельефом подошвы). Предложите модель кроссовок (тип подошвы) для бегуна, который совершает пробежку: а) в лесу; б) по стадиону с асфальтовым покрытием.

19. Когда машина движется равномерно, равнодействующая сила равна нулю. В этом случае водитель может выключить двигатель, продолжая двигаться равномерно. Однако ему по-прежнему необходимо поддерживать двигатель в рабочем состоянии. Объясните этот «парадокс».

20. Лифт Байлонг (или «Лифт Ста Драконов») находится в Китае в провинции Хунань и является самым высоким свободно двигающимся лифтом в мире (рис. 8). Он поднимает туристов на смотровую площадку одной из живописных вершин, расположенную на высоте 360 м. Подъем (и спуск) длится около минуты, в то время как пеший путь наверх занимает не менее трех часов. Оцените вес туриста массой 60 кг при спуске на этом лифте.

Рис. 8

21. Если бы свободно падающий из состояния покоя предмет был оборудован одометром, то насколько изменялись бы его показания через каждую секунду?

22. Найдите ошибку в рассуждениях учащегося: «В опытах со стеклянной трубкой и падающими в ней дробинкой, перышком и кусочком ткани (рис. 9) свободное падение перышка продолжается дольше, чем дробинки и кусочка ткани, из-за сопротивления воздуха».

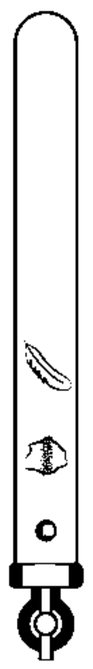


Рис. 9

23. Можно ли двигаться по дороге-серпантину с постоянным модулем скорости, не прикладывая силу? Почему?

© MICHAEL GAUTIER

24. Прочитайте отрывок из белорусской народной сказки «Неучтивый сын».

...Сын уже и на сено не взобрался. Идет сбоку да все на отца ворчит.

Доехали до крутого поворота. Отец свой воз подпер плечом и объехал поворот, а сын не захотел тратить силы. Воз перевернулся да и подмял его под себя.

— Кузьма! — кричит сын из-под сена. — Подними воз!

Молчит отец, как воды в рот набрал. Достал из кармана кисет, закурил трубку. «Полежи-ка там, раз ты такой умный», — думает.

Звал, звал сын Кузьму, а тот как оглох. Сын уже еле дышит. Испугался, завопил не своим голосом:

— Батька, спасай!

Обрадовался Кузьма, что сын наконец назвал его отцом. Поднял воз и говорит сыну, усмехаясь:

— Поживешь, брат, на свете — всего наживешь, и Кузьму отцом назовешь!

С той поры и пошла эта присказка.

Объясните с точки зрения физики, что произошло с возами сена.

Основы статики

25. Некоторые виды динозавров передвигались на двух лапах. Почему у этих существ всегда были длинные хвосты, если у них были длинные шеи (рис. 10)?

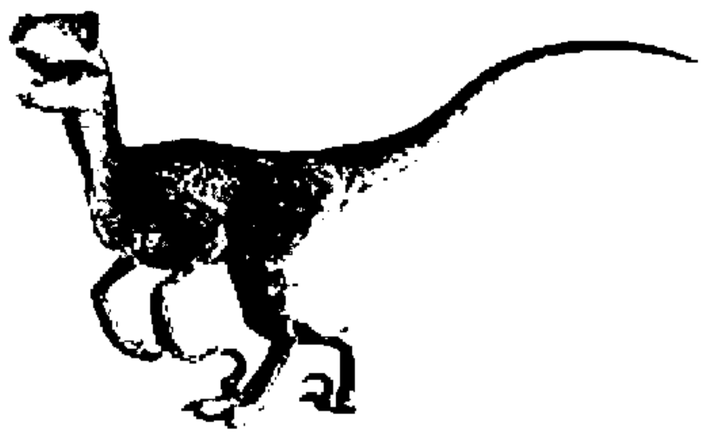


Рис. 10

26. Как с помощью длинного шеста канатоходец обеспечивает себе большую устойчивость?

27. Обратите внимание на положения тел людей (рис. 11): а) отца, несущего сына на плечах; б) студента, несущего достаточно тяжелую сумку с книгами; в) учительницы, которая несет перед собой стопку тетрадей. Объясните, зачем они корректируют положение своего тела. Отметьте приблизительное расположение центра тяжести во всех случаях.

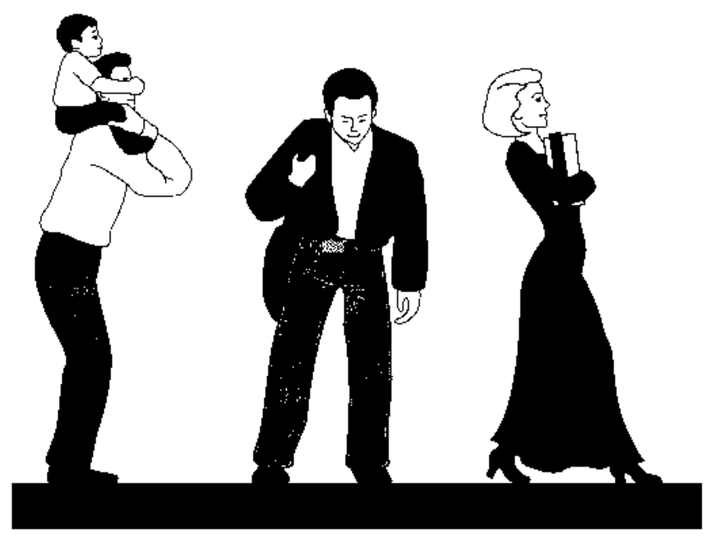


Рис. 11

© MICHAEL GAUTIER

28. На рисунке 12 изображена простая форма трамплина для прыжков. Если масса прыгуна 60 кг, рассчитайте величину и покажите направление силы, действующей на доску в точках *A* и *B*. Массой доски пренебречь.

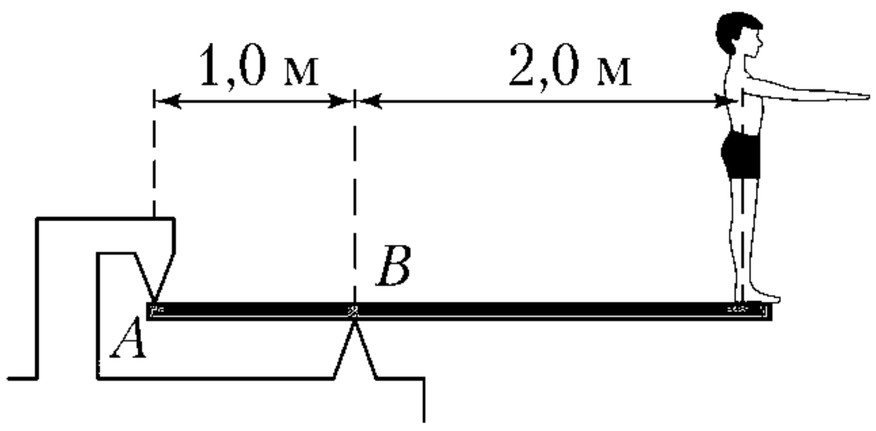


Рис. 12

29. Сегодня многие люди при строительстве жилья отдают предпочтение деревянным домам, объясняя свой выбор в первую очередь тем, что они экологичные, в них поддерживается оптимальный микроклимат. Согласны ли вы со сторонниками деревянных домов? Аргументируйте свой ответ.

Построить деревянный дом своими руками — не такое уж трудное дело. Главное — знать и принимать во внимание все тонкости при выполнении каждого вида работ.

Один из основных этапов строительства дома — это возведение стен, для чего необходимо поднимать деревянные бревна на разную высоту. Для этой цели семья физиков разработала конструкцию самодельного крана (рис. 13) для подъема бревен. Какие простые механизмы использованы в этой конструкции? Определите их назначение.

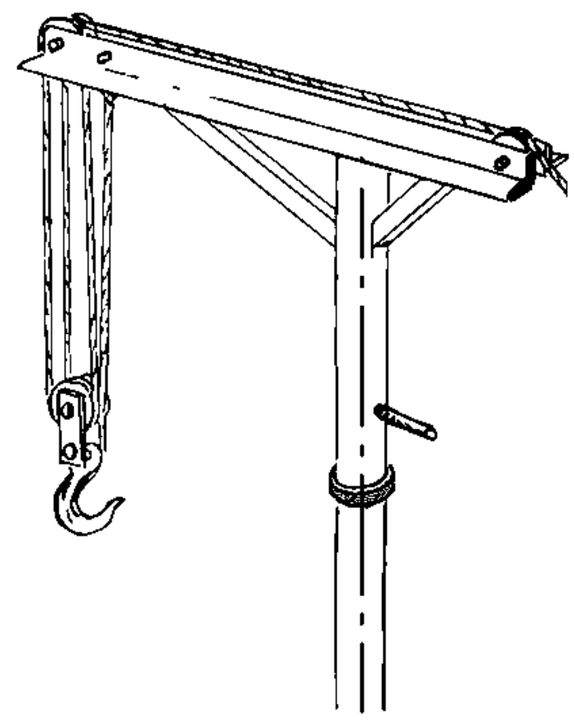


Рис. 13

С помощью данного механизма поднимают бревно (во время подъема бревно уравновешено на тросе). Определите, какая часть бревна окажется тяжелее, если его распилить в месте подвеса (рис. 14).

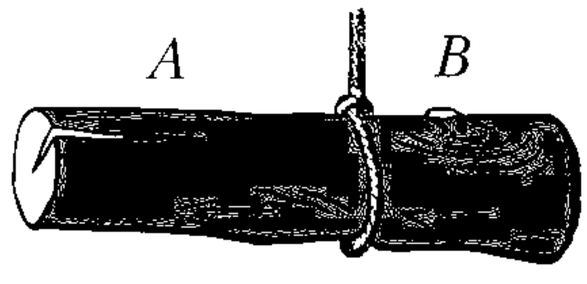


Рис. 14

30. Определите, в каком стакане (рис. 15) налито больше воды.

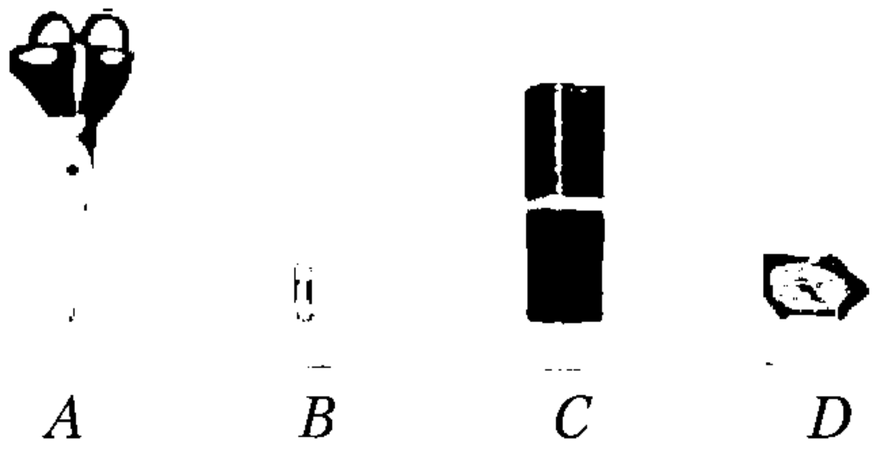


Рис. 15

© MICHAEL GAUTIER

31. Спасательный жилет — это средство, предназначенное для удержания тела человека на поверхности воды. Он должен обеспечить сохранение жизни в опасных ситуациях, поэтому является обязательной частью экипировки для многих видов отдыха на воде, ведь даже профессионал в какой-то момент может столкнуться с непредвиденными обстоятельствами, а дополнительная страховка на воде никогда не помешает.

Поясните принцип действия спасательного жилета. Почему спасательные жилеты имеют яркие цвета?

32. «Тюлени — прекрасные пловцы и ныряльщики. Они предпочитают проводить время, плавая и кувыркаясь в воде среди льдов. Мех у тюленей очень теплый, а подкожный жир надежно защищает их от холодов. Новорожденные тюлени покрыты специальным жиром, который очень хорошо сохраняет тепло. Малышам это просто необходимо, ведь мамы сразу же начинают давать им уроки плавания в холодной воде. Такой жирок не только защищает тюленят от мороза, но и помогает им удерживаться на воде, словно спасательный круг». [Чайка, Е. Моя первая энциклопедия.]

Определите модуль выталкивающей силы, действующей на детеныша тюленя массой $m = 8{,}0$ кг, плавающего под водой.

Законы сохранения

33. Одной из самых быстрых морских рыб является меч-рыба (рис. 16). Модуль скорости ее движения может достигать $v = 35\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Меч-рыба иногда пробивает при ударе стенки деревянных шлюпок. Сама меч-рыба от удара не страдает. В ее голове у основания меча находится гидравлический амортизатор: небольшие полости, наполненные жиром. Они смягчают удар. Силу удара снижают и толстые упругие хрящевые прокладки, заполняющие пространство между позвонками. Определите модуль средней силы сопротивления деревянного корпуса шлюпки, в который ударит меч-рыба, плывущая на предельной скорости. Масса рыбы $m = 0{,}20$ т. Толщина стенок судна $h = 25$ см.

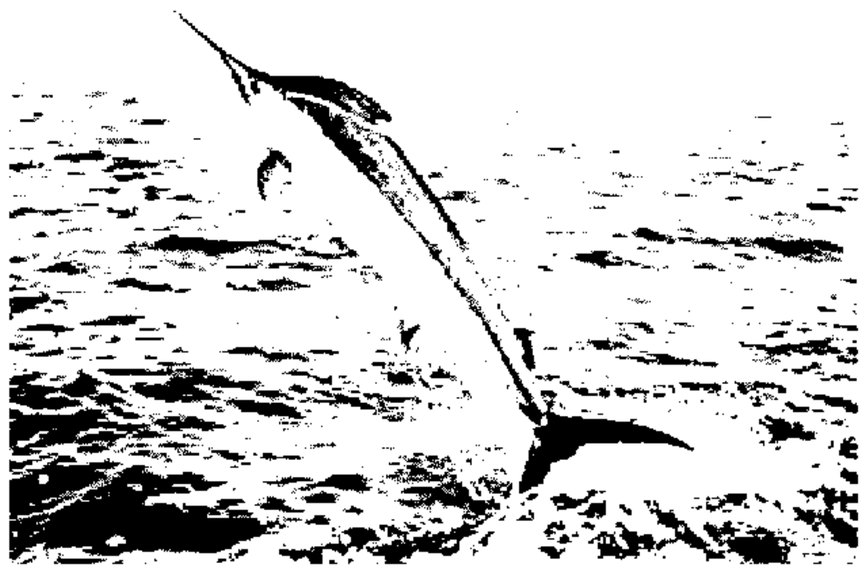


Рис. 16

© MICHAEL GAUTIER

34. Представьте: космонавт ползком медленно перемещается по поверхности космической станции, приближаясь к месту неисправности. И вдруг обнаруживает, что цепочка, соединяющая его со шлюзом, коротковата — не хватает двух метров. Подумав минутку, он отстегивает от пояса карабин, чтобы прикрепить его к ближайшей скобе. Но, потянувшись за вылетевшим из рук инструментом, космонавт перестает быть одним целым со станцией и, раскручиваясь, летит куда-то в сторону Альфы Центавра. Все?

Нет, космонавт даже не думает паниковать. Достав пару устройств, похожих на пистолеты, он целится куда-то во мрак и спускает крючки. Из сопел «пистолетов» вырывается сжатый воздух, и космонавт возвращается к станции. Объясните, какой из законов физики помогает космонавту.

35. Часто в фильмах герой спрыгивает с моста прямо на небольшую лодку, которая продолжает двигаться без изменения скорости. Объясните, какая физическая ошибка здесь допущена.

36. Космонавт в скафандре массой $m = 0{,}10$ т отделился от космического корабля на расстояние $l = 10$ м и удаляется от него со скоростью, модуль которой $v_1 = 0{,}10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Чтобы вернуться к космическому кораблю, он выбрасывает 10-килограммовый мешок с инструментом со скоростью $\vec{v}_2 \left(v_2 = 5{,}10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$. Сколько времени ему потребуется, чтобы вернуться к космическому кораблю?

37. Папа сидит в одной надувной лодке, плавающей по озеру, а сын — в другой. Лодки находятся на некотором расстоянии друг от друга. Папа держит в руках один конец веревки, а сын — другой. Если папа начнет тянуть веревку, то какое утверждение будет справедливым: а) папа притянет к себе лодку с сыном; б) лодка папы притянется к лодке сына; в) обе лодки будут двигаться навстречу друг другу? Почему?

38. Ящик массой $m = 0{,}20$ т должен быть доставлен с площадки первого этажа (точка A) в квартиру, расположенную на третьем этаже (точка E) (рис. 17). Рабочие знают, что сначала могут воспользоваться лифтом, а затем перетащить ящик вдоль стенки третьего этажа в квартиру (точка E), или сначала могут передвинуть его по пути ABC к другому лифту, отмеченному буквой C, а затем поднять ящик

© MICHAEL GAUTIER

на лифте на третий этаж и передвинуть его в квартиру по более короткому расстоянию *DE*. Проблема в том, что пол третьего этажа очень шероховатый по сравнению с первым. Коэффициент трения между ящиком и полом первого этажа составляет $\mu_1 = 0{,}10$, а между ящиком и поверхностью третьего этажа — $\mu_2 = 0{,}30$. Определите минимальную работу, которую совершат рабочие, выполнив поставленную задачу.

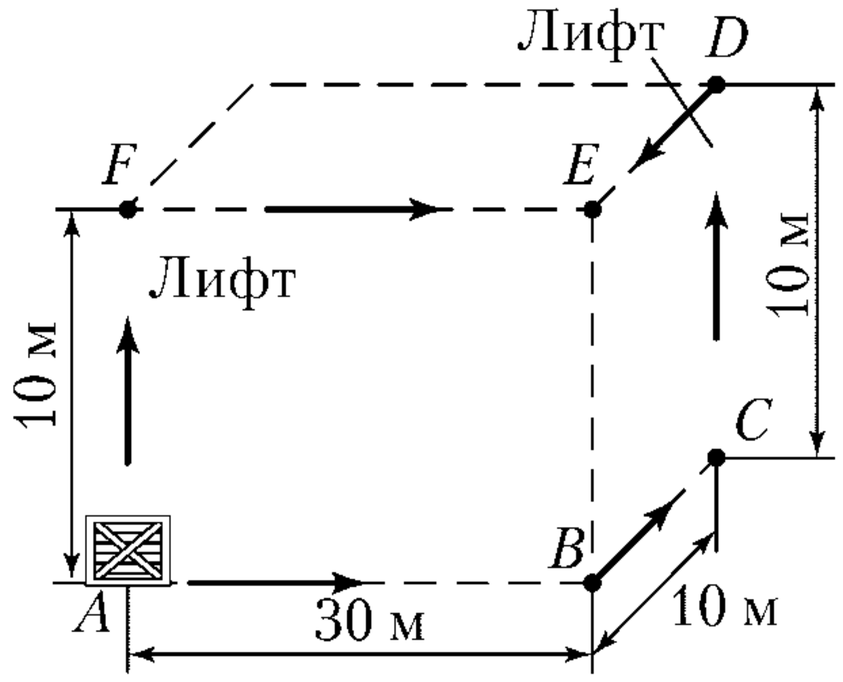


Рис. 17

39. Витебская гидроэлектростанция (ГЭС) — самая мощная в стране. Она построена на Западной Двине. Подпорные сооружения ГЭС образуют водохранилище объемом $V_0 = 4{,}10$ млн м^3. Средняя высота уровня воды в водохранилище над турбиной составляет 12,5 м (рис. 18).

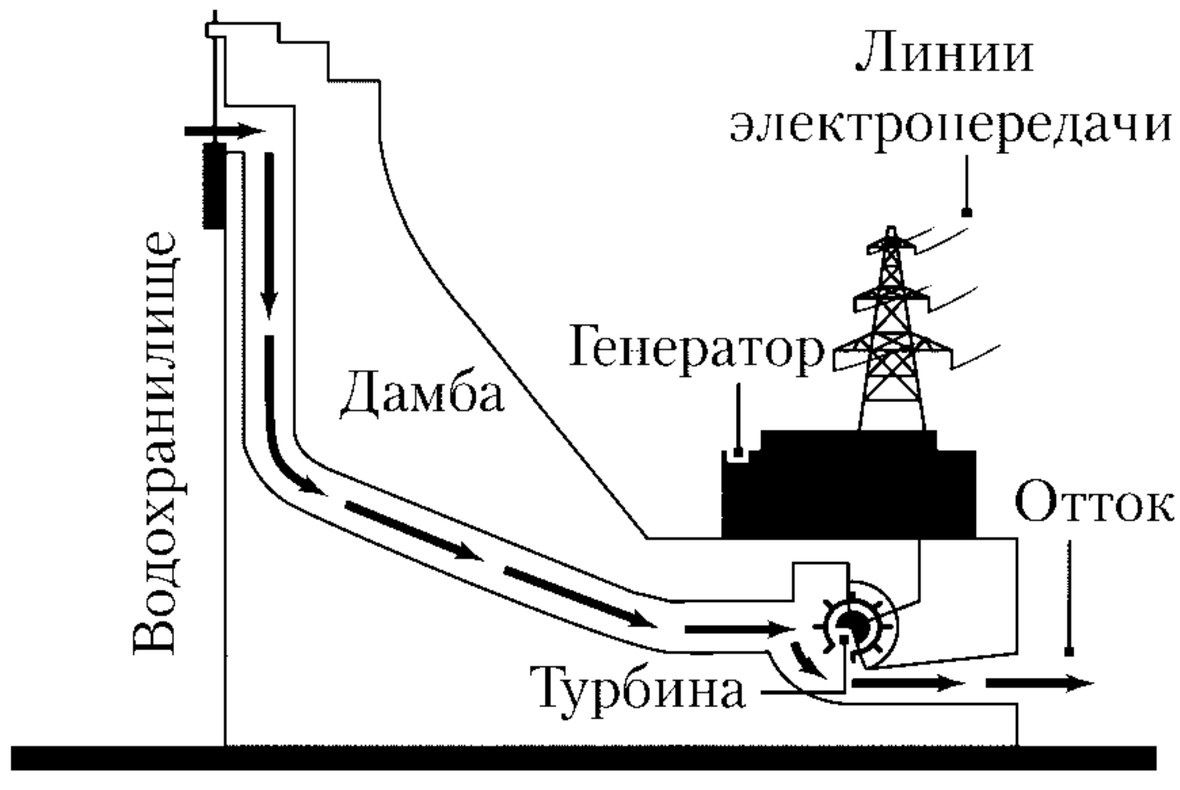


Рис. 18

Оцените потенциальную энергию воды в водохранилище относительно турбины генератора.

40. Во время тренировки на Земле астронавт в скафандре поднимается по вертикальной лестнице. На Луне тот же астронавт совершает точно такой же подъем. В каком случае потенциальная энергия астронавта изменяется в большей степени? Ответ поясните.

41. Космический зонд массой $m = 5{,}0 \cdot 10^4$ кг путешествует в космосе со скоростью, модуль которой $v = 11 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Тормозные двигатели запускаются вдоль линии движения, чтобы уменьшить скорость

© MICHAEL GAUTIER

зонда. Тормозные двигатели создают силу $F = 4{,}0 \cdot 10^5$ Н на пути $l = 2{,}5 \cdot 10^3$ км. Чему равна конечная скорость зонда?

42. Толкание ядра — олимпийский вид спорта, в котором белорусские спортсмены неоднократно достигали высоких результатов. Так, Надежда Остапчук в 2008 году стала бронзовым призером Олимпийских игр в Пекине. Ей принадлежит один из национальных рекордов: Надежда отправила снаряд на отметку 21,70 м.

Опишите преобразование энергии ядра, начиная с момента, когда спортсмен толкает его, и заканчивая моментом, когда ядро падает на землю.

43. Сегодня все больше людей отдают предпочтение активному отдыху. Одна из его разновидностей — хайкинг.

Хайкинг (от англ. hiking) — это непродолжительное пешее путешествие налегке по горной местности с использованием маркированных и хорошо подготовленных троп. Такая прогулка подходит для всей семьи и имеет оздоровительные и познавательные цели.

Представьте, что вы разработчик нового маршрута для хайкинга. Определите, как туристам будет легче подниматься в гору: по серпантину (зигзагообразному пути) или прямо к вершине (рис. 19).

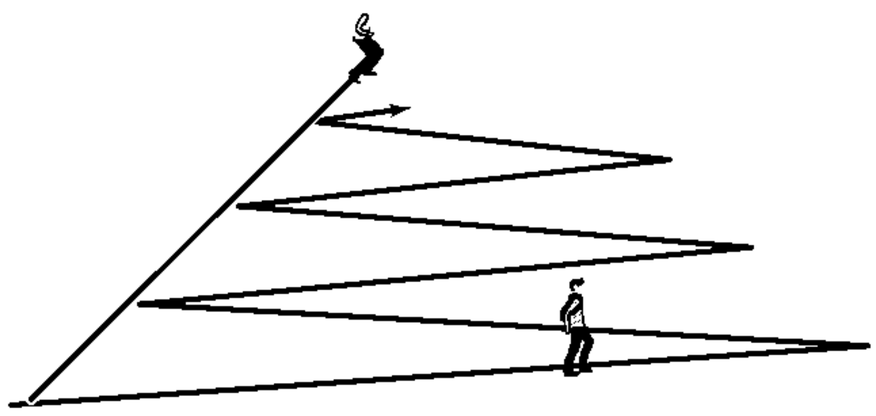


Рис. 19

44. В художественной гимнастике, выполняя упражнение с мячом, гимнастки подбрасывают мяч вертикально вверх (рис. 20). Одинаковы ли модули скорости, с которой гимнастка бросает мяч и с которой он возвращается к ней? Сравните время движения мяча вверх со временем его движения вниз.

Рис. 20

© MICHAEL GAUTIER

Ответы

1. $s = 12$ км; $\Delta r = 8{,}4$ км, на восток.

3. $s = 7{,}07$ км; $\Delta r = 2{,}12$ км, с запада на север.

5. $\langle v_{\min} \rangle = 2{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

6. $v = 9{,}6 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

7. $a = 0{,}12 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $v_4 = 0{,}48 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

8. а) $l = 200$ м; б) $t = 110$ с; в) $l_{\text{о}} = 80$ м; г) $t_{\text{с}} = 100$ с; д) $\langle v_{\text{С}} \rangle = 80 \frac{\text{см}}{\text{с}}$; е) постоянная; ж) возрастала.

11. $v_1 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $v_2 = 39 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

28. $F_A = 1{,}2$ кН; $F_B = 1{,}8$ кН.

32. $F_{\text{А}} = 80$ Н.

33. $\langle F \rangle = 0{,}49$ МН.

38. $A_{\min} = 14$ кДж.

41. $v_{\text{к}} = 9{,}0 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

© MICHAEL GAUTIER

Плотность твердых, жидких и газообразных веществ (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	ρ, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	ρ, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Вещество	ρ, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	ρ, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Вещество в твердом состоянии при 20 °С					
Осмий	22 600	22,6	Мрамор	2700	2,7
Иридий	22 400	22,4	Стекло оконное	2500	2,5
Платина	21 500	21,5	Фарфор	2300	2,3
Золото	19 300	19,3	Бетон	2300	2,3
Свинец	11 300	11,3	Соль поварен-ная	2200	2,2
Серебро	10 500	10,5	Кирпич	1800	1,8
Медь	8900	8,9	Оргстекло	1200	1,2
Латунь	8500	8,5	Капрон	1100	1,1
Сталь, железо	7800	7,8	Полиэтилен	920	0,92
Олово	7300	7,3	Парафин	900	0,90
Цинк	7100	7,1	Лед	900	0,90
Чугун	7000	7,0	Дуб (сухой)	700	0,70
Корунд	4000	4,0	Сосна (сухая)	400	0,40
Алюминий	2700	2,7	Пробка	240	0,24
Жидкость при 20 °С					
Ртуть	13 600	13,60	Спирт	800	0,80
Серная кислота	1800	1,80	Нефть	800	0,80
Глицерин	1200	1,20	Ацетон	790	0,79
Вода морская	1030	1,03	Эфир	710	0,71
Вода	1000	1,00	Бензин	710	0,71
Масло подсол-нечное	930	0,93	Жидкое олово (при t = 400 °С)	6800	6,80

© MICHAEL GAUTIER

Вещество	**ρ, $\frac{кг}{м^3}$**	**ρ, $\frac{г}{см^3}$**	**Вещество**	**ρ, $\frac{кг}{м^3}$**	**ρ, $\frac{г}{см^3}$**
Масло машинное	900	0,90	Жидкий воздух (при $t = -194$ °C)	960	0,86
Керосин	800	0,80			
Газ при 0 °C					
Хлор	3,210	0,00321	Оксид углерода (II) (угарный газ)	1,250	0,00125
Оксид углерода (IV) (углекислый газ)	1,980	0,00198	Природный газ	0,800	0,0008
Кислород	1,430	0,00143	Водяной пар (при $t = 100$ °C)	0,590	0,00059
Воздух	1,290	0,00129	Гелий	0,180	0,00018
Азот	1,250	0,00125	Водород	0,090	0,00009

Приложение 3

Греческий алфавит

Название буквы	**Обозначение**		**Название буквы**	**Обозначение**	
	Прописная	**Строчная**		**Прописная**	**Строчная**
альфа	A	α	ню	N	ν
бета	B	β	кси	Ξ	ξ
гамма	Γ	γ	омикрон	O	o
дельта	Δ	δ	пи	Π	π
эпсилон	E	ε	ро	P	ρ
дзета	Z	ζ	сигма	Σ	σ
эта	H	η	тау	T	τ
тета	Θ	θ	ипсилон	Y	υ
йота	I	ι	фи	Φ	φ
каппа	K	κ	хи	X	χ
лямбда	Λ	λ	пси	Ψ	ψ
мю	M	μ	омега	Ω	ω

© MICHAEL GAUTIER

Приложение 4

Единицы измерения физических величин и приставки к ним

Название	Обозначение	Множитель	Пример
дека	да	10^{1}	1 дам = 1 · 10 м (метров)
гекто	г	10^{2}	1 гм = $1 \cdot 10^{2}$ м
кило	к	10^{3}	1 км = $1 \cdot 10^{3}$ м
мега	М	10^{6}	1 Мм = $1 \cdot 10^{6}$ м
гига	Г	10^{9}	1 Гм = $1 \cdot 10^{9}$ м
тера	Т	10^{12}	1 Тм = $1 \cdot 10^{12}$ м
пета	П	10^{15}	1 Пм = $1 \cdot 10^{15}$ м
экса	Э	10^{18}	1 Эм = $1 \cdot 10^{18}$ м
зетта	З	10^{21}	1 Зм = $1 \cdot 10^{21}$ м
деци	д	10^{-1}	1 дм = $1 \cdot 10^{-1}$ м (метров)
санти	с	10^{-2}	1 см = $1 \cdot 10^{-2}$ м
милли	м	10^{-3}	1 мм = $1 \cdot 10^{-3}$ м
микро	мк	10^{-6}	1 мкм = $1 \cdot 10^{-6}$ м
нано	н	10^{-9}	1 нм = $1 \cdot 10^{-9}$ м
пико	п	10^{-12}	1 пм = $1 \cdot 10^{-12}$ м
фемто	ф	10^{-15}	1 фм = $1 \cdot 10^{-15}$ м
атто	а	10^{-18}	1 ам = $1 \cdot 10^{-18}$ м
зепто	з	10^{-21}	1 зм = $1 \cdot 10^{-21}$ м

© MICHAEL GAUTIER

ОТВЕТЫ

ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ

1. Векторы. Действия над векторами. Проекция вектора на ось

10. а) $\alpha = 180°$; б) $\alpha = 0°$; в) $\alpha = 120°$. **12.** $F = 7$ Н. **14.** а) $v_x = 12$; $v_y = -9$; б) $F_x = -6$; $F_y = 8$. **16.** а) $a_x = 3$; $a_y = 2$; $b_x = 5$; $b_y = -8$; $c_x = 8$; $c_y = -6$; в) $c = 10$; г) $\alpha = 37°$. **17.** $\Delta r_x = 2{,}5\sqrt{3}$; $\Delta r_y = 2{,}5$. **18.** $a = 5$; $\alpha = 53°$. **19.** $x_2 = 7{,}1$; $y_2 = 8{,}5$. **20.** $a = 10$.

3. Путь и перемещение

42. $s = 4$ м; $\Delta r = 0$ м. **43.** $s_1 = 5{,}0$ м; $\Delta r_1 = 5{,}0$ м; $s_2 = 7{,}0$ м; $\Delta r_2 = 5{,}0$ м. **44.** $\Delta r = 15$ м. **45.** $s = 700$ м; $\Delta r = 500$ м. **46.** $l = 0{,}8$ км. **51.** $l = 0{,}12$ км; $\Delta r = 40$ м. **52.** $\Delta r = 5$ м. **53.** $\Delta r = 25$ м; $x_2 = 10$ м; $y_2 = -10$ м. **54.** $s = 4{,}5\pi R = 71$ км; $\Delta r = \sqrt{2}R = 7{,}1$ км. **55.** $s_A = s_C = 15{,}7$ см; $s_B = 22{,}1$ см; $s_D = 0$; $\Delta r_A = \Delta r_C = 14{,}1$ см; $\Delta r_B = 20{,}0$ см; $\Delta r_D = 0$.

4. Равномерное прямолинейное движение. Скорость

60. $t = 20$ с. **61.** $s = 50$ м. **62.** $t = 36$ с. **63.** $v_2 = 12\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **64.** $V = 7{,}2$ м^3.

65. $l = 35$ м. **66.** $s_2 = v_2\left(\frac{s_1}{v_1} + t\right) = 560$ м. **67.** $v_2 = 20\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **68.** $v = \frac{l}{t} = 3{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

69. $t = \frac{2v_1l_1 + 2v_2l_2}{v_1^2 + v_2^2} = 32$ с. **70.** $v_2 = 72\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **71.** $l_2 = l_1\frac{v_0 - v}{v_0 + v}$. **72.** $s = 5{,}0$ км.

73. $l = \frac{v_1v_2(t_1 + t_2)}{v_2 - v_1} = 60$ км. **74.** $N = \frac{3\langle v\rangle t}{l + s} = 3{,}9 \cdot 10^3$. **77.** $t = 6{,}3$ сут.

78. $x = 120$ м. **79.** $x = 15$ м. **81.** $t = 1{,}6$ с; $x = 9{,}6$ м. **82.** $x = 0{,}25$ км.

83. а) $s = 2$ м; б) $s = 4$ м; в) $s = 4$ м. **85.** $\frac{v_1}{v_2} = 1$; $s_1 = s_2 = 60$ м. **90.** $\frac{v_1}{v_2} = 2$.

100. $t = 0{,}4$ ч; $x = 2$ км. **101.** $t = 80$ с; $l_A = 1{,}2$ км. **102.** $t = 66$ с от момента пересечения перекрестка B вторым пешеходом. **103.** $H = \frac{v_1v_2t}{\sqrt{v_1^2 - v_2^2}}$.

104. $t = 17$ мин. **105.** $\frac{v_1}{v_2} = \frac{8}{7}$.

© MICHAEL GAUTIER

5. Неравномерное движение. Средняя и мгновенная скорость

114. $\langle v \rangle = 6{,}0\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **115.** $\langle v \rangle = 8{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **116.** $\langle v \rangle = 850\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **117.** $\langle v \rangle = 55\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

118. $\langle v \rangle = 24\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **119.** $\left|\langle \vec{v} \rangle\right| = 0$; $\langle v \rangle = 5{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **120.** $t = 48$ мин. **121.** а) $2{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

б) $\langle v \rangle = 5{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\langle v \rangle = 4{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **122.** $\langle v \rangle = 9\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **123.** $\langle v \rangle = 20\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\left|\langle \vec{v} \rangle\right| = 12\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

124. $\langle v \rangle = 12\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **125.** $\langle v \rangle = 59\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **126.** $\left|\langle \vec{v} \rangle\right| = 90\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **127.** $s_2 = 65$ км.

128. $t_2 = 4{,}5$ ч. **129.** $v_2 = 40\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **130.** $\langle v \rangle = 4{,}1\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **131.** $\langle v_1 \rangle = 2\langle v \rangle = 12\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

132. $v_1 = 96\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$; $v_2 = 48\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **133.** $\left|\langle \vec{v} \rangle\right| = \frac{4}{3}v$. **134.** $\langle v \rangle = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2} = 17{,}5\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

135. $v_{\text{в}} = \frac{5s}{8t} = 15\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **136.** $\langle v \rangle = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **137.** $\langle v \rangle = \frac{9s_1}{8t} = 9\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

$\left|\langle \vec{v} \rangle\right| = \frac{3s_1}{8t} = 3\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **138.** $\langle v \rangle = \frac{4v_1v_2}{3v_2 + v_1} = 64\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **139.** Первая лодка.

140. $\langle v_2 \rangle = \frac{\langle v \rangle\langle v_1 \rangle}{2\langle v_1 \rangle - \langle v \rangle} = 225\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **141.** В 2 раза. **142.** $\frac{\langle v \rangle}{\left|\langle \vec{v} \rangle\right|} = 1{,}4$.

143. $\Delta r = 5$ км. **144.** $\left|\langle \vec{v} \rangle\right| = \frac{\sqrt{v_1^2 + v_2^2}}{2} = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **145.** $\langle v_1 \rangle = 1{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\langle v_2 \rangle = 1{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

$\langle v \rangle = \frac{(4v_1 - v_2)v_2}{2v_1 + v_2} = 1{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **146.** $t_{\text{о}} = \frac{2v_1v_2t}{2v_1v_2 - v_2\langle v \rangle - v_1\langle v \rangle} = 6{,}0$ ч.

6. Сложение скоростей

151. в) $v_{21} = 70\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **152.** $t = 95$ с. **153.** $t = 0{,}30$ ч. **154.** $l = 390$ м.

155. а) $t_1 = \frac{l_1 + l_2}{v_1 - v_2} = 144$ с; б) $t_1 = \frac{l_1 + l_2}{v_1 + v_2} = 16$ с. **156.** $t = 9{,}0$ с.

157. а) $v_{12} = 40\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $v_2 = 15\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $t_2 = \frac{l}{v_1 - v_2} = 2{,}0$ с.

158. $v = v_1\left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) = 8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **159.** $v_1 = 15\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$; $v_2 = 25\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **160.** $v_{\text{т}} = 25\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

161. $v_{\text{т}} = 2\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **162.** $v_0 = 39\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **163.** $v_0 = 3\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **165.** $t_2 = 2{,}5$ ч. **166.** $t_2 = 1$ ч.

167. $v_2 = 54\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **168.** $\frac{t_0}{t_{\text{р}}} = \frac{v_{\text{л}}^2 - v_{\text{т}}^2}{v_{\text{л}}^2} = \frac{3}{4}$. **169.** $v_{\text{к}} = 3{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

© MICHAEL GAUTIER

170. а) $\frac{v_1}{v_2} = \frac{t_2 + t_1}{t_2 - t_1}$; б) $t = \frac{2t_1t_2}{t_2 - t_1}$; в) $t = \frac{2t_1t_2}{t_1 + t_2}$. **171.** $t = \frac{t_1t_2}{2t_2 - t_1} = 90$ с.

172. $N = \frac{2N_1N_2}{3N_1 - N_2} = 80$. **173.** $v_т = \frac{s}{2t} = 4\ \frac{км}{ч}$. **174.** $v_т = \frac{s_1 - s_2}{2t} = 4{,}0\ \frac{км}{ч}$;

$v_л = \frac{s_1 + s_2}{2t} = 16\ \frac{км}{ч}$. **175.** $v = 50\ \frac{м}{с}$. **176.** $\Delta r = 4$ м. **177.** $v = 3{,}0\ \frac{м}{с}$.

178. $l = 72$ м. **179.** $v = 20\ \frac{м}{с}$. **181.** $v_0 = 2{,}0\ \frac{м}{с}$. **182.** $v = 45\ \frac{м}{с}$. **183.** $v = 24\ \frac{м}{с}$;
вертолет полетит под углом $\varphi = 17°$ к востоку от меридиана.

184. $v = 83\ \frac{м}{с}$; $\varphi = 3°$ к западу от меридиана. **185.** $v = 35\ \frac{км}{ч}$.

186. $v_2 = 0{,}5\ \frac{м}{с}$. **187.** $v_0 = 17\ \frac{м}{с}$.

7. Равнопеременное движение

194. $a = 3{,}0\ \frac{м}{с^2}$. **195.** $t = 18$ с. **196.** $a = 2{,}0\ \frac{м}{с^2}$; направлено против скорости $\vec{v}_1$. **197.** $\frac{a_м}{a_в} = 2$. **198.** $v_2 = 10\ \frac{м}{с}$. **199.** $v_x = 4{,}0\ \frac{м}{с}$. **200.** $v_x = -1{,}6\ \frac{м}{с}$.

201. $\Delta r = 24$ м. **202.** $t = 4{,}0$ с; $s = 20$ м. **203.** $t = 12$ с; $a = 2{,}5\ \frac{м}{с^2}$.

204. $v_{0x} = 2{,}2\ \frac{м}{с}$. **205.** а) $t = 6{,}0$ с; б) $t = 12$ с. **206.** $\frac{s_1}{s_2} = 3$. **207.** $s = 20$ м.

208. $t = 10$ с. **209.** $v_{отн} = 40\ \frac{м}{с}$. **210.** $t = \frac{2v_1}{a_2} = 8{,}0$ с. **211.** $t = 10$ с; $a = 10\ \frac{м}{с^2}$.

212. $s = \frac{v_0t}{2} = 25$ м. **213.** $\frac{v}{v_0} = 5$. **214.** $v_0 = 2\ \frac{м}{с}$; $v = 14\ \frac{м}{с}$. **215.** $a = 75\ \frac{км}{с^2}$.

216. $v_0 = \sqrt{\frac{2as}{k^2 - 1}} = 2{,}0\ \frac{м}{с}$; $t = \sqrt{\frac{2s(k-1)}{a(k+1)}} = 12$ с. **217.** $t = 1{,}2$ с.

218. $a = 0{,}02\ \frac{м}{с^2}$; $s = 4{,}0$ м. **219.** $s_4 = 4{,}2$ м. **220.** В 3 раза. **221.** $s_2 = 9$ м;
$v = 6\ \frac{м}{с}$. **222.** $s_2 = 6{,}0$ м; $s_9 = 34$ м. **223.** $a = 4{,}0\ \frac{м}{с^2}$. **224.** $s_1 = 10$ м; $s_2 = 30$ м;
$s_3 = 50$ м. **225.** $v' = 5\ \frac{м}{с}$. **226.** В 2 раза. **227.** $a = 2\ \frac{м}{с^2}$. **228.** $a = 5{,}0\ \frac{м}{с^2}$;
$v_0 = 2{,}5\ \frac{м}{с}$. **229.** $v_0 = 10\ \frac{м}{с}$. **230.** $a = 10\ \frac{м}{с^2}$; $v = 0{,}30\ \frac{км}{с}$.

231. $N = \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 = 16$; $t_3 = 0{,}5$ с. **232.** $v_2 = 2v_1 = 10\ \frac{м}{с}$.

© MICHAEL GAUTIER

233. $t_{\min} = \dfrac{v - \sqrt{v^2 - 2as_0}}{a} = 6$ с. **234.** $s = 34$ м. **235.** $v_0 = 0{,}45\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; $a = 0{,}30\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

236. $\Delta r = 45$ м. **237.** $t = 12$ с. **238.** $s = \dfrac{v}{2}(t_1 + 2t_2 + t_3) = 0{,}65$ км.

239. $a_2 = \dfrac{2l_1^2}{l_2 t_1^2} = 2{,}0\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **240.** $s = \dfrac{v^2}{2a_1} + \dfrac{vt}{2} = 0{,}24$ км. **241.** $\langle v \rangle = 12\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

242. $a = \dfrac{4v}{t} = 2\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **243.** $t = 2{,}5t_1 = 70$ с. **244.** $\Delta r = \dfrac{a_1 t_1^2}{2}\left(1 + \dfrac{a_1}{a_2}\right) = 0{,}3$ км.

252. $s = 3{,}2$ дм. **253.** $v_{0x} = 0$; $x_1 = 400$ м; $x_2 = -400$ м; $a_{1x} = 2\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

$a_{2x} = -2\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **254.** г) $x = 9{,}0$ м; д) $\Delta r_x = -10$ м; $s = 26$ м. **255.** а) $x = 0$;

$v_x = -4\,\dfrac{\text{дм}}{\text{с}}$. **256.** $x_{\text{в}} = 0{,}14$ км; $t' = 5{,}0$ с; $\Delta x = 40$ м. **257.** $v_{\text{отн}} = 10\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

266. $\Delta r_x = 3$ м; $s = 11$ м. **267.** а) $\langle v_1 \rangle = 1{,}2\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; $\langle v_2 \rangle = 2{,}0\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\langle v_1 \rangle = 6{,}0\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$;

$\langle v_2 \rangle = 3{,}6\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **268.** $\Delta r = 24$ м. **269.** II; $a = 4\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

8. Криволинейное движение

270. $\omega = 1{,}2\,\dfrac{\text{рад}}{\text{с}}$. **271.** $R = 20$ см. **272.** $\omega = 1{,}3\,\dfrac{\text{рад}}{\text{с}}$; $\nu = 0{,}20\ \text{с}^{-1}$.

273. $R = \dfrac{nl}{n-1} = 25$ см. **274.** $\nu = 5\ \text{с}^{-1}$; $T = 0{,}2$ с. **275.** $\omega = 1{,}3\,\dfrac{\text{рад}}{\text{с}}$.

276. $v = 8{,}4\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; $T = 0{,}15$ с. **277.** В $\dfrac{\omega_{\text{ч}}}{\omega_{\text{з}}} = 2$ раза. **278.** $\omega = 42\,\dfrac{\text{рад}}{\text{с}}$; $T = 0{,}15$ с;

$\nu = 6{,}7\,\dfrac{1}{\text{с}}$; $\langle v \rangle = 8{,}4\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **279.** $R = 10$ см. **280.** $N = 25$. **281.** Можно.

282. $h = 6{,}0$ м. **283.** $\omega = \dfrac{\sqrt{2as}}{R} = 1\,\dfrac{\text{рад}}{\text{с}}$. **284.** $v = \dfrac{\pi R}{t}$.

285. $t = \dfrac{4}{5(\nu_B - \nu_A)} = 0{,}4$ с. **286.** $t = \dfrac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} = 3{,}6$ мин. **287.** $v_{\min} = 4R\nu$.

288. $a = 0{,}68\,\dfrac{\text{км}}{\text{с}^2}$. **289.** $v = 18\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **290.** $R = 30$ см. **291.** $a_1 = 3{,}2\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

$a_2 = 8{,}0\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $T = 1{,}6$ с. **293.** $T = 0{,}50$ с. **294.** а) $\dfrac{a_1}{a_2} = \dfrac{1}{2}$; б) $\dfrac{a_1}{a_2} = 2$. **295.** $\dfrac{v_{\text{т}}}{v_{\text{а}}} = \dfrac{1}{4}$;

$\dfrac{a_{\text{т}}}{a_{\text{а}}} = \dfrac{1}{32}$. **296.** $R = \dfrac{nl}{n-1} = 15$ см. **297.** $\dfrac{v_{\text{с}}}{v_{\text{м}}} = 40$; $\dfrac{a_{\text{с}}}{a_{\text{м}}} = 2{,}4 \cdot 10^3$.

© MICHAEL GAUTIER

298. $a_1 = 30\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **299.** $v_A = 0{,}9\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **300.** $v_A = 0; v_B = v_D = 2{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}}; v_C = 4{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}};$

$v_E = 2{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **301.** $N = 478; a = 1{,}00 \cdot 10^3\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **302.** $\Delta r = \frac{aN^2}{2\langle\nu\rangle^2} = 40$ м.

303. $a = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}v$. **304.** $\alpha = 90°$. **305.** $t = \frac{2}{3\pi\nu}; \Delta\varphi = \frac{4}{3}$ рад.

ОСНОВЫ ДИНАМИКИ

9. Сила

308. $F = 8{,}0$ Н. **309.** $F = 7$ Н. **310.** в) $F = 50$ Н. **311.** $F = 15$ Н. **312.** а) $F_\text{р} = F$; б) $F_\text{р} = 2F$; в) $F_\text{р} = 0$. **313.** а) $F = 2{,}8$ Н; б) $F = 4{,}5$ Н; в) $F = 10$ Н.

314. $F_2 = 10$ Н. **315.** $F = 0{,}90$ Н. **316.** $F = 80$ Н. **317.** $\varphi = \operatorname{arctg}\frac{1}{n} = 32°$.

318. $F_1 = 25$ Н; $F_2 = 43$ Н. **319.** $N = \frac{mgR}{\sqrt{l(2R+l)}} = 20$ Н;

$F_\text{н} = \frac{mg(R+l)}{\sqrt{l(2R+l)}} = 52$ Н. **320.** $F_\text{н} = \frac{mgl}{h+R}; N = \frac{mgR}{h+R}$.

321. $F_\text{н} = \frac{mg(l+r)}{R} = 1{,}6$ Н.

10. Законы Ньютона

329. $a = 4{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **330.** $F = 0{,}50$ кН. **331.** $m = 2{,}1$ т. **332.** $F_2 = 20$ Н.

333. $a_2 = 0{,}2\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **334.** $m_2 = 9{,}6$ кг. **335.** $\Delta m = \frac{m(a_1 - a_2)}{a_2} = 2{,}0$ т.

336. $a_\text{max} = 20\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}; a_\text{min} = 12\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **337.** $F_1 = 40$ Н. **338.** $F = 20$ Н.

339. $F = 4$ кН. **340.** $F = 4$ Н. **341.** а) $F_\text{н} = 11$ кН; б) $F_\text{н} = 9{,}0$ кН;

в) $F_\text{н} = 10$ кН. **342.** $a = 20\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **343.** $h_\text{max} = 5{,}0$ м. **344.** $F = 0{,}9$ Н.

345. $F_\text{н} = 9$ Н. **346.** $m = 2$ кг. **347.** $F_{2x} = 4$ Н.

350. $m_2 = \frac{2}{g}(m_1 g - F_\text{н}) = 8 \cdot 10^2$ кг. **351.** $m_3 = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} = 300$ кг.

352. $F_\text{с} = 80$ мН. **353.** $v_0 = 4\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **354.** $F_2 = mg + \frac{(mg - F_1)h_1}{h_2} = 60$ Н.

355. $t = \frac{v_0}{g\sqrt{1-\eta^2}} + \frac{v_0}{g(1+\eta)} = 3{,}8$ с. **356.** $N = mg - F\sin\alpha = 5{,}0$ Н;

© MICHAEL GAUTIER

$a = \dfrac{F\cos\alpha}{m} = 13\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **357.** $a = 5\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **366.** $\langle a_2 \rangle = 0{,}6\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **367.** $\dfrac{\langle a_{\text{п}} \rangle}{\langle a_{\text{л}} \rangle} = 5$.

368. $\dfrac{\langle a_1 \rangle}{\langle a_2 \rangle} = 8$. **369.** $v_2 = 2\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **370.** $v_1 = 0{,}2\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **371.** $m_1 = 50$ кг; $m_2 = 70$ кг.

372. $a_1 = 0{,}25\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $a_2 = 0{,}20\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **373.** $F_{\text{д}} = 72$ Н. **374.** $\alpha = 30°$. **375.** $F = 1{,}0$ Н.

377. $F = m\sqrt{g^2 + (\omega^2 r)^2}$. **378.** $F_{12} = 4$ Н; $F_{23} = 2$ Н.

11. Сила упругости

383. $k = 0{,}15\ \dfrac{\text{кН}}{\text{м}}$. **384.** $\Delta l = 60$ мм. **385.** $l_0 = 22$ см. **386.** $2k$. **387.** $4k$.

388. а) $\Delta l = 8$ см; б) $\Delta l = 2$ см. **389.** $\Delta l = 2{,}0$ мм. **390.** $a = 50\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

391. $\Delta l = \dfrac{2sm}{kt^2} = 0{,}8$ мм. **392.** $a = \dfrac{k|\Delta l|}{m_2}$; $F = k|\Delta l|\left(\dfrac{m_1}{m_2} + 1\right)$.

393. $F_{\text{упр}} = m\left(\dfrac{2h}{t^2} + g\right) = 0{,}11$ кН; $\Delta l = 5{,}0 \cdot 10^{-4}$ м. **394.** $F_{\text{упр}} = 2{,}3$ Н.

395. $\dfrac{\Delta l_1}{\Delta l_2} = 4$. **396.** $\Delta l = 0{,}53$ мм. **397.** $\Delta l = \dfrac{ma}{k\cos\alpha} = 0{,}2$ м.

398. $m = \dfrac{k\Delta l}{g - a} = 0{,}20$ кг. **399.** $l_0 = \dfrac{m_1 l_1 + m_2 l_2}{m_1 + m_2}$. **400.** $l_0 = 3l_1 - 2l_2$.

401. $k = \dfrac{g(m_2 - m_1)}{l_2 - l_1} = 75{,}0\ \dfrac{\text{Н}}{\text{м}}$. **402.** $l = \dfrac{kl_0}{k - m(2\pi\nu)^2}$.

12. Сила трения

404. $F_{\text{тр}} = 3{,}6$ Н. **405.** $\mu = 0{,}05$. **406.** $\mu = 0{,}32$. **407.** $k = 0{,}15\ \dfrac{\text{кН}}{\text{м}}$.

408. $F = 7{,}0$ Н. **409.** $F = m\left(\dfrac{v}{t} + \mu g\right) = 9{,}2$ Н. **410.** $v_0 = \sqrt{2\mu g l} = 12\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

411. $F = m\left(\mu g + \dfrac{2s}{t^2}\right) = 2{,}0$ Н. **412.** а) $F_{\text{тр}} = 4 \cdot 10^5$ Н; б) $\mu = 0{,}1$; в) $t = 8$ с.

413. $F = \mu m(g - a) = 81$ Н. **414.** $F_{\text{тр}} = \mu(mg - F\sin\alpha) = 17$ Н.

415. $F = \dfrac{\mu mg}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha}$. **416.** $a = \dfrac{F\cos\alpha + \mu F\sin\alpha - \mu mg}{m} = 0{,}66\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

417. $\dfrac{F_1}{F_2} = \dfrac{1 + \mu\,\text{tg}\,\alpha}{1 - \mu\,\text{tg}\,\alpha} = 1{,}5$. **418.** $a = 5\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **419.** $F_2 = F_1 + 2mg = 3$ Н.

420. $a = \dfrac{F(\cos\alpha - \mu\sin\alpha) - mg}{m} = 0{,}75\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **421.** $\mu = 0{,}15$. **425.** а) $F_{\text{тр}} = 8{,}7$ Н;

© MICHAEL GAUTIER

б) $F_{тр} = 0{,}95$ Н. **426.** $F_{\min} = 0{,}12$ кН. **427.** $\mu = \dfrac{gt^2}{2gt^2 + 8s} = 0{,}20.$

428. $t_2 = \dfrac{2\Delta r t_1 (mg - F\sin\alpha)}{g\left(Ft_1^{\,2}\sqrt{1 - \sin^2\alpha} - 2\Delta r m\right)} = 1$ с. **429.** $F_{\min} = 5\mu mg = 6$ Н.

430. $F = 3\mu mg = 9$ Н. **431.** а) $F_{\min} = \mu g(m_1 + m_2) = 30$ Н;

б) $F_{\min} = \mu m_2 g\left(1 + \dfrac{m_2}{m_1}\right) = 7{,}5$ Н. **432.** а) $a_1 = a_2 = \dfrac{F}{m_1 + m_2} = 0{,}10\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

б) $a_1 = \dfrac{\mu m_2 g}{m_1} = 0{,}50\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $a_2 = \dfrac{F}{m_2} - \mu g = 2{,}0\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

433. $F_{\min} = (m_1 + m_2)(\mu_1 + \mu_2)g = 0{,}03$ кН. **436.** $F_c = 20$ Н.

437. $v_2 = v_1\sqrt{\dfrac{m_2}{m_1}} = 4{,}8\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

13. Закон всемирного тяготения

442. $F = 1{,}0 \cdot 10^{-8}$ Н. **443.** $m = 1{,}0$ г. **444.** $r = 7 \cdot 10^6$ м. **445.** В 4 раза.

446. В 9 раз. **447.** $F = \dfrac{G\rho^2\pi^2 d^4}{36} = 2{,}3 \cdot 10^{-7}$ Н. **448.** $r_2 = 26$ м.

449. $F = n\sqrt[3]{n}F_0 = 16F_0$. **450.** В 12 раз. **451.** $l = 6R_З$. **452.** На 36 %.

453. $r_1 = \dfrac{r}{\sqrt{\dfrac{m_2}{m_1}} + 1} = 2{,}5$ м. **454.** $F_0 = \dfrac{5}{4}F$. **455.** $F = 2{,}9 \cdot 10^{-9}$ Н.

456. $g_1 = 6{,}4\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $g_2 = 2{,}5\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **457.** $g_М = 3{,}8\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **458.** $g_С = 27{,}5g$.

459. $T = \sqrt{\dfrac{3\pi n}{G\langle\rho\rangle(n-1)}}$. **460.** $\langle\rho\rangle = \dfrac{7{,}5\omega^2}{\pi G} = 3{,}0 \cdot 10^3\ \dfrac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

461. а) $\dfrac{v_2}{v_1} = \sqrt{\dfrac{R_1}{R_2}} = 2$; б) $\dfrac{T_1}{T_2} = \left(\dfrac{R_1}{R_2}\right)^{\frac{3}{2}} = 8$. **462.** $v_Л = 1{,}7\ \dfrac{\text{км}}{\text{с}}$.

463. $v_п = 2R\sqrt{\dfrac{\pi\langle\rho\rangle G}{3}} = 2{,}8\ \dfrac{\text{км}}{\text{с}}$. **464.** $v_п = \sqrt{gR_З\dfrac{n}{k}} = 1{,}2 \cdot 10^4\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

465. $v = \sqrt{\dfrac{GM}{h + R}}$. **466.** В 4 раза. **467.** $v_{IO} = \dfrac{2\pi R}{T}\sqrt{\dfrac{R}{R_{IO}}} = 38\ \dfrac{\text{км}}{\text{с}}$.

468. В 3 раза.

© MICHAEL GAUTIER

14. Свободное падение тел

469. $h = 7$ м. **470.** $v_0 = 20\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **471.** $h_{\max} = 5{,}0$ м. **472.** $v_0 = 30\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; $h_{\max} = 45$ м; $v = 15\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **473.** $v_2 = 26\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **474.** В 6 раз. **475.** $\langle v \rangle = 14\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **476.** $v_0 = 16\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

477. $s_1 = \Delta r_1 = 5$ м; $s_2 = 10$ м; $\Delta r_2 = 0$; $\langle v \rangle = 5\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **478.** $h_2 = 10$ м.

479. $t = 8{,}0$ с. **480.** В 16 раз. **481.** $v_0 = 6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **482.** $t = \dfrac{3\sqrt{2gh}}{2g} = 3{,}0$ с.

483. $s = 20$ м. **484.** $s = 10$ м. **485.** $s = 35$ м. **486.** На $\Delta s = 10$ м. **487.** В 3 раза.

488. $h = \dfrac{gt_1t_2}{2} = 6$ м. **489.** $v_0 = \dfrac{\sqrt{g\left(8h + g(\Delta t)^2\right)}}{2} = 20\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; $t = \sqrt{(\Delta t)^2 + \dfrac{8h}{g}} = 4{,}0$ с. **490.** $h = 45$ м. **491.** $v = \dfrac{h}{t} + \dfrac{gt}{2}$; $v_0 = \dfrac{h}{t} - \dfrac{gt}{2}$.

492. $h = 45$ м. **493.** $t_1 = \dfrac{h_1}{gt} - \dfrac{v_0}{g} + \dfrac{t}{2} = 3{,}0$ с; $H = 0{,}11$ км. **494.** $h_1 = 0{,}6$ м; $h_2 = 1{,}0$ м; $h_3 = 1{,}4$ м. **495.** $t = \dfrac{2(v_0 + v)}{g} = 3$ с. **496.** $t = \sqrt{\dfrac{2h}{g - a}} = 0{,}59$ с.

497. $v_0 = 30\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **498.** $\Delta t = -t_1 + \sqrt{t_1^2 + \dfrac{2h}{g}} = 2{,}0$ с. **499.** $t = \dfrac{h}{v_{01}} = 2{,}5$ с.

500. $h = \dfrac{gt_1}{2}(2t_2 - t_1) = 35$ м. **501.** $h = 1{,}4$ м. **502.** $h = \dfrac{3v_0^2}{8g} = 60$ см.

503. $h = \dfrac{a_1t_1^2}{2} + \dfrac{(a_1t_1)^2}{2g} = 6{,}0$ км. **504.** $t_2 = 2t_1 = 40$ с. **505.** $v_0 = 18\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

506. $h = \dfrac{\left((\Delta t_1)^2 + (\Delta t_2)^2\right)^2 g}{8(\Delta t_2)^2} = 34$ м. **507.** $t = \dfrac{h}{gt_1} - \dfrac{t_1}{2} = 2{,}0$ с; $H = \dfrac{\left(2h - gt_1^2\right)^2}{8gt_1^2} = 20$ м. **508.** $v_0 = \dfrac{\sqrt{2gh}\left(k^2 - 1\right)}{2k}$; $\dfrac{v_2}{v_1} = \dfrac{k^2 + 1}{2k}$. **509.** $h = 20$ м.

510. Уменьшить в 2 раза. **511.** $v_0 = l\sqrt{\dfrac{g}{2h}} = 8\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **512.** $t = \dfrac{\sqrt{v^2 - v_0^2}}{g} = 2{,}0$ с.

513. $v_1 = \sqrt{(gt_1)^2 + v_0^2} = 50\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; $v = \sqrt{2gh + v_0^2} = 60\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

514. $h_2 = h_1 - \dfrac{v_0^2 \operatorname{tg}^2\alpha}{2g} = 125$ м. **515.** $n = \dfrac{v_0}{d}\sqrt{\dfrac{2H}{g}} = 40$. **516.** $\Delta h = 35$ см.

517. На 50 %. **518.** $v_0 = 30\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **519.** а) $t = \dfrac{2v_0 \sin\alpha}{g} = 2{,}0$ с;

© MICHAEL GAUTIER

б) $h_{\max} = \dfrac{(v_0 \sin\alpha)^2}{2g} = 5{,}0$ м. **520.** $h_{\max} = \dfrac{gt^2}{8} = 0{,}50$ км. **521.** $\alpha = 60°$.

522. $h_{\max} = \dfrac{4v_0^2}{9g} = 10$ м. **523.** $\dfrac{l}{h_{\max}} = 3$. **524.** $\alpha = 45°$. **525.** $\dfrac{h_1}{h_2} = \operatorname{tg}^2\alpha$; $\dfrac{l_1}{l_2} = 1$.

526. В 9 раз. **527.** $\alpha_1 = 60°$. **528.** $\dfrac{v_{01}}{v_{02}} = \sqrt{2\cos 2\alpha}$. **529.** $l = \dfrac{4h_{\max}}{\operatorname{tg}\alpha} = 60$ м.

530. $v_0 = \dfrac{g(t_1 + t_2)}{2\sin\alpha} = 30\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; $h = \dfrac{gt_1t_2}{2} = 10$ м. **531.** $m = \dfrac{2\rho S v_0^2 \sin\alpha}{g} = 2{,}0$ кг.

532. $t = \dfrac{v_0 \sin\alpha + \sqrt{v_0^2 \sin^2\alpha + 2gh_0}}{g} = 3{,}0$ с.

15. Динамика движения материальной точки по окружности

535. $F_1 = 5{,}6$ Н; $F_2 = 2{,}4$ Н; $F_{н1} = 6{,}4$ Н; $F_{н2} = 1{,}6$ Н. **536.** $F_{тр} = 16$ Н.

537. $\omega = \sqrt{\dfrac{\mu g}{r}} = 5{,}0\,\dfrac{\text{рад}}{\text{с}}$. **538.** $k = 2m\omega^2 = 9\,\dfrac{\text{Н}}{\text{м}}$. **539.** $F_{\text{н}} = m\dfrac{4\pi^2 N^2 r}{t^2}$.

540. $F_1 = (m_1 r_1 + m_2 r_2)\omega^2 = 0{,}40$ Н; $F_2 = m_2\omega^2 r_2 = 0{,}36$ Н.

541. $F = (m_1 r_1 - m_2 r_2)\omega^2 = 45$ Н. **542.** $r_1 = \dfrac{m_2 l}{m_1 + m_2} = 21$ см.

543. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l\cos\alpha}{g}}$. **544.** $F_{\text{н}} = m\left(g\cos\alpha + \dfrac{v^2}{l}\right) = 5{,}5$ Н. **545.** $\dfrac{T_1}{T_2} = \cos^2\alpha$.

546. $\omega = \sqrt{\dfrac{g\operatorname{tg}\alpha}{R + l\sin\alpha}}$. **547.** $R = \dfrac{2g}{\omega^2} = 0{,}8$ м; $h = \dfrac{g}{\omega^2} = 0{,}4$ м.

548. $l_0 = \dfrac{gk - \omega^2 mg}{k\omega^2\cos\alpha} = 15$ см. **549.** $\nu_{\min} = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{2g\operatorname{tg}\alpha}{d}}$.

550. $F_{\text{н}} = m(g\cos\alpha - \omega^2 R\sin\alpha)$. **551.** $v_{\max} = 20\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **552.** $(F_{\text{тр}})_{\max} = 81$ Н;

$\alpha_{\min} = 84°$. **553.** $v_{\max} = \sqrt{\mu g R} = 15\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; $\alpha = \operatorname{arctg}\mu = 37°$;

$N = mg\sqrt{1 + \mu^2} = 0{,}80$ кН. **554.** $v_{\max} = 54\,\dfrac{\text{км}}{\text{ч}}$.

555. $v_{\max} = \sqrt{\dfrac{Rg(\operatorname{tg}\alpha + \mu)}{1 - \mu\operatorname{tg}\alpha}} = 30\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **556.** $R = \dfrac{v^2}{g\operatorname{tg}\alpha} = 7{,}5$ км.

557. $F_{\text{д}} = 6{,}0$ кН. **558.** $h = 8$ см. **559.** $v_{\min} = \sqrt{\dfrac{gR}{\mu}} = 20\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **560.** $P = 0{,}95$ кН.

561. $v = 25\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **562.** $F_{\text{д}} = 0{,}9$ кН. **563.** $v = \sqrt{\dfrac{(n\cos\alpha - 1)gR}{n - 1}} = 21\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

© MICHAEL GAUTIER

564. $P = m\sqrt{\dfrac{v^4}{R^2} + g^2}$. **565.** $R = 10$ м. **566.** $F_д = 4{,}2$ кН. **567.** $F_н = m\omega^2 l$; $F_д = m\left(g - \omega^2 l \sin\alpha\right)$. **568.** $P = 3{,}3$ кН; $\alpha = 14°$ к горизонту. **569.** $F = 12$ Н; $\alpha = 48°$ к горизонту. **570.** $F = 14$ Н; $\beta = 45°$ к вертикали.

571. $m = \dfrac{\Delta P}{\omega^2 R} = 10$ кг.

16. Динамика движения связанных тел

573. $a = 1\,\frac{м}{с^2}$; $F_н = 2$ Н. **574.** $F_н = \dfrac{m_1 F_2 + m_2 F_1}{m_1 + m_2} = 3$ Н. **575.** В 4 раза.

576. $F_н = \dfrac{m_2 F\left(\cos\alpha + \mu\sqrt{1 - \cos^2\alpha}\right)}{m_1 + m_2}$. **577.** $F_н = m(n-6)(a + \mu g) = 1{,}2 \cdot 10^5$ Н.

578. $a = \dfrac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2} = 6{,}0\,\frac{м}{с^2}$; $F_н = \dfrac{2m_1 m_2 g}{m_1 + m_2} = 32$ Н.

579. $m_0 = \dfrac{4ms}{gt^2 - 2s} = 20$ г; $F_д = \dfrac{4ms}{t^2} = 0{,}19$ Н. **580.** $t = \sqrt{\dfrac{h(m_1 + m_2)}{g(m_2 - m_1)}} = 0{,}3$ с.

581. На $\Delta F = \dfrac{2m}{t^2}(H_2 - H_1) = 1$ Н. **582.** $\dfrac{a_1}{a_2} = 3$.

583. $t = \sqrt{\dfrac{2hm_1}{g(m_2 - m_1)}} = 2{,}4$ с. **584.** $h_{max} = \dfrac{4}{3}h_2 = 40$ см. **585.** $t_2 = 2$ с.

586. $a_1 = \dfrac{(m_1 - m_2)g - 2m_2 a_0}{m_1 + m_2} = 2{,}0\,\frac{м}{с^2}$; $a_2 = \dfrac{(m_1 - m_2)g + 2m_1 a_0}{m_1 + m_2} = 6{,}0\,\frac{м}{с^2}$.

587. $\mu = \dfrac{m_2}{m_1} - \dfrac{2s(m_1 + m_2)}{m_1 g t^2} = 0{,}20$. **588.** $\mu = \dfrac{l}{L - l} = 0{,}50$.

589. $F = \dfrac{2\Delta r(M + m)}{t^2} + 2\mu m g = 13$ Н.

17. Динамика движения по наклонной плоскости

590. а) $a = g\sin\alpha$; б) $a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$. **591.** $\mu = \dfrac{al - gh}{g\sqrt{l^2 - h^2}} = 0{,}1$.

592. а) $\dfrac{a_п}{a_с} = \dfrac{\operatorname{tg}\alpha + \mu}{\operatorname{tg}\alpha - \mu} = 9$; б) $\dfrac{t_с}{t_п} = \sqrt{\dfrac{\operatorname{tg}\alpha + \mu}{\operatorname{tg}\alpha - \mu}} = 3$.

593. $v = \sqrt{2hg(1 - \mu\operatorname{ctg}\alpha)} = 9{,}0\,\frac{м}{с}$. **594.** $v_0 = \sqrt{2g\left(h + \mu\sqrt{l^2 - h^2}\right)} = 14\,\frac{м}{с}$.

595. $t = l\sqrt{\dfrac{2}{g\left(h - \mu\sqrt{l^2 - h^2}\right)}} = 13$ с. **596.** В 2,5 раза.

© MICHAEL GAUTIER

597. $t = \sqrt{\dfrac{2\left(h^2 + b^2\right)}{g\left(h - h_0\right)}} = 2{,}0$ с. **598.** $t = \sqrt{\dfrac{2h}{g\left(\sin\alpha - \operatorname{tg}\beta\cos\alpha\right)\sin\alpha}} = 1{,}0$ с.

599. $\mu = \dfrac{t_1^2\sin\alpha_1 - t_2^2\sin\alpha_2}{t_1^2\cos\alpha_1 - t_2^2\cos\alpha_2} = 0{,}39$. **600.** а) $F_1 = 0{,}38$ кН; б) $F_2 = 0{,}43$ кН.

601. а) $F_1 = mg\left(\sin\alpha - \mu\cos\alpha\right) = 83$ Н; б) $F_2 = \dfrac{mg\left(\operatorname{tg}\alpha - \mu\right)}{1 + \mu\operatorname{tg}\alpha} = 90$ Н;

в) $F_3 = \dfrac{mg\left(\sin\alpha - \mu\cos\alpha\right)}{\mu} = 0{,}83$ кН. **602.** $m = \dfrac{F_1 - F_2}{2g\sin\alpha} = 0{,}2$ кг.

603. $\mu = \dfrac{F_2 - F_1}{2mg\cos\alpha} = 0{,}40$. **604.** $v = v_0\sqrt{\dfrac{\operatorname{tg}\alpha - \mu}{\operatorname{tg}\alpha + \mu}} = 4\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **605.** $a = 6\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

606. $\alpha = \arcsin\left(\dfrac{F}{2mg}\right) = 30°$. **607.** $a = \dfrac{\mu g}{\sqrt{1 + \mu^2}}$. **608.** $F_{\text{н}} = \dfrac{m_2 F}{m_1 + m_2} = 20$ Н.

609. $F_{\text{н}} = \dfrac{\left(\mu_2 - \mu_1\right)m_1 m_2 g\cos\alpha}{m_1 + m_2} = 3{,}0$ Н. **610.** $F_{\text{н}} = \dfrac{m_1 m_2 g\left(1 + \sin\alpha + \mu\cos\alpha\right)}{m_1 + m_2}$.

611. $F = \dfrac{m_1 m_2\left(\mu_1 - \mu_2\right)g\cos\alpha}{m_1 + m_2} = 0{,}50$ Н.

ОСНОВЫ СТАТИКИ

18. Равновесие твердых тел. Простые механизмы

618. $l_2 = 16$ см. **620.** $F_1 = 10$ Н. **621.** $F = 1$ Н. **622.** $P = 560$ Н. **623.** $F = 4$ Н.
624. $F = 8{,}0$ Н. **625.** $m = 0{,}60$ кг. **626.** $F_{\min} = 4{,}0$ кН. **627.** $F = 0{,}45$ Н.
628. $l_1 = 80$ см. **629.** $m_2 = 0{,}2$ кг. **630.** $m = 1{,}6$ кг. **631.** $m = 0{,}8$ кг.
632. $l_2 = 20$ см. **633.** $F_2 = 25$ Н. **634.** $m_0 = 1{,}4$ кг. **635.** $F = 0{,}18$ кН.
636. $l = 25$ см. **637.** $m = 0{,}20$ кг. **638.** На $\Delta r = 53$ мм. **639.** $F_2 = 4{,}9$ Н.

640. $F = 30$ Н. **641.** $F_1 = 42$ Н. **642.** $L = 75$ см. **643.** $m = 39$ г.

644. $\alpha_{\min} = 60°$. **645.** а) $F_1 = mg\dfrac{\sqrt{2Rh - h^2}}{R - h} = 75$ Н;

б) $F_2 = mg\dfrac{\sqrt{2Rh - h^2}}{R} = 60$ Н; в) $F_3 = mg\dfrac{\sqrt{2Rh - h^2}}{2R} = 30$ Н.

646. а) $\alpha = \operatorname{arctg}\dfrac{1}{3} = 18°$; б) $m = \dfrac{m_0}{4} = 24$ г; в) $F_{\min} = \dfrac{m_0 g}{4\sqrt{2}} = 0{,}17$ Н.

647. $m = 350$ г. **648.** $m_1 = 20$ г. **649.** а) $F_{\text{тр}} = \dfrac{mg}{2\operatorname{tg}\alpha} = 10$ Н;

© MICHAEL GAUTIER

б) $F_{тр} = \dfrac{mg}{2}\sin^2\alpha = 5{,}0$ Н. **650.** $\alpha = 2\arcsin\dfrac{m_2}{m_1} = 60°$.

651. $F = \dfrac{mg}{2}\sqrt{4 + \operatorname{ctg}^2\alpha}$; $F_н = \dfrac{mg}{2\operatorname{tg}\alpha}$. **652.** $m = \dfrac{2F}{g\sin\alpha}$;

$F_1 = \dfrac{F}{\sin\alpha}\sqrt{4 - 3\sin^2\alpha}$. **653.** $m_1 = \dfrac{m_2\sin\beta}{\sin\alpha} = 69$ г.

654. $F = \dfrac{mgR}{\sqrt{l^2 - 4R^2}} = 0{,}6$ Н. **655.** а) $F = \dfrac{mg}{2}\operatorname{ctg}\alpha = 20$ Н;

б) $F_{\min} = \dfrac{3mg}{4}\operatorname{ctg}\alpha = 30$ Н. **656.** $F_д = 9{,}0$ Н. **657.** $F_н = \dfrac{mg}{4}\operatorname{ctg}\alpha = 25$ Н.

658. $L_{\min} = \mu l\operatorname{tg}\alpha = 1{,}7$ м. **659.** $\alpha_{\min} = \operatorname{arctg}\dfrac{1 - \mu_1\mu_2}{2\mu_1} = 45°$. **660.** $h = 2R\operatorname{ctg}\alpha$.

661. $a_{\max} = \dfrac{2gR}{h} = 4{,}0\ \dfrac{м}{с^2}$. **662.** $\alpha_{\max} = \operatorname{arctg}2\mu$. **663.** $F_н = \dfrac{mg\sin\alpha}{\cos\alpha + 1} = 17$ Н.

664. $h = \dfrac{l}{2\mu} = 30$ см. **665.** $\alpha_{\min} = \operatorname{arctg}\left(\dfrac{1}{2} + \dfrac{1}{\mu}\right) = 68°$.

666. $F_н = \dfrac{2mg}{\sqrt{3}+1}$; $F_{тр} = \dfrac{mg}{\sqrt{3}+1}$. **667.** $\alpha_{\max} = 2\operatorname{arctg}\mu$. **669.** $A = 0{,}70$ Дж.

670. $V = 0{,}20$ дм^3. **671.** $F = 1{,}2$ Н; $\Delta E = 0{,}24$ Дж. **672.** $F = 1{,}7$ Н.

673. $m = 20{,}0$ кг. **674.** $m_2 = 5{,}0$ кг. **675.** $P = 0{,}93$ Вт. **676.** $L = 24$ см.

677. $m_2 = 1{,}1$ кг. **678.** $l = 45$ см. **679.** $a_1 = \dfrac{(m_1 - m_2)g - 2m_2a_0}{m_1 + m_2} = 2{,}0\ \dfrac{м}{с^2}$;

$a_2 = \dfrac{(m_1 - m_2)g + 2m_1a_0}{m_1 + m_2} = 6{,}0\ \dfrac{м}{с^2}$. **680.** $l = 7{,}2$ см. **681.** $P = \dfrac{4Fh}{\Delta t} = 12$ Вт.

682. $\eta = 90$ %. **683.** $A_2 = 17{,}5$ Дж. **684.** $\eta = 75$ %. **685.** $h = 0{,}2$ м; $\eta = 95$ %.

686. $\eta = 75$ %. **687.** $F = 50$ Н. **688.** $\eta = 50$ %. **689.** $\eta = 75$ %. **690.** $l = 80$ см.

691. $\eta = 75$ %. **692.** $l = 1$ м. **693.** $h = 40$ см. **694.** $P = 1{,}4$ кН. **695.** $h = 31$ см.

696. $\eta = 60$ %. **697.** $\eta = 62$ %. **698.** $P = 12$ Н. **699.** $l = 1$ см ближе к центру шара большей массы. **700.** $x = 2{,}7$ мм. **701.** $x = \dfrac{m_2(l_1 + l_2)}{2(m_1 + m_2)} = 10$ см.

702. $x = 5{,}0$ см слева от третьего шара. **703.** $l = 20$ мм. **704.** а) $l = \dfrac{1}{6}R$;

б) $l = \dfrac{\sqrt{2}}{12}a$; в) $l = \dfrac{R}{2(2\pi - 1)}$; г) $l = \dfrac{\pi a}{4(16 - \pi)}$. **705.** $l = 9{,}0$ см.

© MICHAEL GAUTIER

19. Действие жидкости и газа на погруженное в них тело. Закон Архимеда. Условия плавания тел

719. $F_A = 0{,}62$ МН. **720.** $V = 15{,}0$ дм^3. **721.** $F_A = 8{,}0$ Н. **722.** $F = 0{,}70$ Н.

723. а) $\rho = 2{,}5\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$; б) $F = 3{,}0$ Н. **724.** $m = 1{,}4$ кг. **725.** $\Delta l = \frac{mg}{k}\left(1 - \frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$.

726. $F = 3{,}0$ Н. **727.** а) $\Delta l_1 = 70$ мм; б) $\Delta l_2 = 60$ мм. **728.** $F = 0{,}24$ Н.

729. $m_2 = 513$ г. **730.** $h = 15$ см. **731.** $m = 4{,}50 \cdot 10^3$ т. **732.** $m = 3{,}6$ кг.

733. $V = 1{,}7$ м^3. **734.** $F = 34$ Н. **735.** $F_д = 2{,}0$ Н.

736. $\rho = \frac{\rho_0 S(h_2 - h_1)}{V_1} = 1{,}2\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. **737.** $F_A = 1{,}7$ Н. **738.** $V_п = 32$ м^3.

739. $m = 0{,}96$ т. **740.** $m_2 = 3{,}2$ т. **741.** $n = 15$. **742.** $P = 75$ кН. **743.** $V = 8{,}1$ м^3.

744. $F_c = 0{,}3$ Н. **745.** $V = 0{,}51$ л. **746.** $V_{min} = 250$ см^3. **747.** $F = 0{,}31$ Н.

748. $\rho = 0{,}80\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. **749.** $m_п = 21$ г. **750.** $m = 8$ кг. **751.** $m = 60$ г.

752. $S = 5{,}0$ см^2. **753.** $V_п = 0{,}72$ дм^3. **754.** $n = 12$. **755.** $F = 3{,}0$ Н.

756. $k = 20\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. **757.** $h_{max} = 75$ мм. **758.** На $\eta_2 = 76$ %. **759.** $\rho_ж = 0{,}75\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

760. $\rho = 700\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. **761.** $V_п = 10$ см^3. **762.** $\rho = 3{,}9\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. **763.** $m = 100$ г. **764.** 5.

765. $V_п = 2$ см^3. **766.** $h_з = 1{,}1$ см. **767.** $\rho = 2{,}8\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. **768.** $v = v_0 \frac{\rho_ж}{\rho - \rho_ж}$.

769. 52 %. **770.** $\rho_д = 0{,}64\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

771. $F_д = \frac{mglR}{h^2 + 4R^2} - \frac{\rho_1 mgR}{\rho_2 l} = 94$ мН. **772.** $\rho_1 = 1{,}2\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$; $\rho_2 = 3{,}0\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

776. $h_2 = \frac{m - \rho_1 hS}{(\rho_2 - \rho_1)S} = 17$ см. **777.** $N = 14$. **778.** $\frac{\rho_1}{\rho_2} = 0{,}6$.

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

20. Импульс тела

785. $p = 12\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **786.** $m = 3{,}2 \cdot 10^{-5}$ кг. **787.** $v = 30\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

788. $p = 0{,}33\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **789.** $v = 0{,}50\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **790.** $p = 7{,}8 \cdot 10^{-3}\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

© MICHAEL GAUTIER

791. $p_y = 0{,}69\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **792.** $p_{1x} = 0{,}3\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; $p_{2x} = -0{,}6\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **793.** В 3 раза.

794. $p_{0x} = 0{,}30\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; $p_x = -0{,}10\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **795.** $\frac{p_2}{p_1} = 2$. **796.** $p_x = 0{,}1\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

797. $p = 3{,}0\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **799.** $p_0 = 95\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; $p = 76\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **800.** а) $p = 3{,}0\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; б) $p = 1{,}8\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; в) $p = 2{,}5\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **802.** а) $\Delta p = 1\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; б) $\Delta p = 2\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

803. $\Delta p = 6{,}0\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **804.** а) $\Delta p = 80\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; б) $\Delta p = 40\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

805. $\Delta p = 0{,}1\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **806.** $\Delta p = 0{,}02\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

807. $\Delta p = m\sqrt{v_0^2 + v^2 + v_0 v} = 0{,}70\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **808.** $\Delta p = 0{,}04\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

809. $\Delta p = 16\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; $a = 8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **810.** $\Delta p = 4\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **812.** $Ft = 72\ \text{Н} \cdot \text{с}$.

813. $m = 9$ кг. **814.** $\langle F \rangle = \frac{2mv \sin\alpha}{\Delta t} = 20$ Н.

815. $\langle F' \rangle = \frac{2m\sqrt{2gh}}{\Delta t} + mg = 11$ Н. **816.** $\langle F' \rangle = \frac{2mv_0 \cos\alpha}{\Delta t} + mg = 55$ Н.

817. $p_x = A + Bt$, где $A = -4\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$, $B = 6$ Н. **818.** $a = 0{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

819. $\Delta p = 24\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **820.** $m = 4{,}0$ кг; $F = 2$ Н. **821.** $v_2 = \frac{5v}{2}$.

21. Закон сохранения импульса

822. $v = 2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **823.** $v = 20\ \frac{\text{см}}{\text{с}}$. **826.** $v = 2{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **827.** $v_1 = 3\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

828. $\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_0 + v}{v_0 - v} = 3$. **829.** $v_1 = \frac{m_2 v_2 - (m_1 + m_2) v_0}{m_1} = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

830. $v_2 = \frac{m_1 v_1 - (m_1 + m_2) v_0}{m_2} = 7{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **831.** $v = 1\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

832. $v_6 = \frac{m_2 (v_1 + v_2)}{m_1} = 3{,}6\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **833.** $v = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m} = 50\ \frac{\text{см}}{\text{с}}$.

834. $v_2 = 0{,}2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $l = 26$ м. **835.** $\Delta t_2 = 8$ с. **836.** $v_2 = \frac{\sqrt{(mv_0)^2 + (m_1 v_1)^2}}{m - m_1}$.

837. $v_2 = \sqrt{\left(\frac{h}{t} - \frac{gt}{2}\right)^2 + 4v_0^2}$. **838.** $v_2 = 0{,}10\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$. **839.** $v_3 = 0{,}25\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

© MICHAEL GAUTIER

840. $v_2 = 0{,}35\,\frac{\text{км}}{\text{с}}$. **841.** $\frac{m_1}{m_2} = 2$. **843.** $v = 0{,}25\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **844.** $v = \frac{mv_0\cos\alpha}{m + m_0} = 2{,}9\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

845. $u = \frac{m_2 v\cos\alpha}{m_1 + m_2} = 1{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **846.** $\Delta v = \frac{m_2}{m_1}\left(v_2\cos\alpha + v_1\right)$.

847. $v_2 = \frac{m_1 v_1 - \left(m_1 + m_2\right)v_0}{m_2\cos\left(180^\circ - \alpha\right)} = 0{,}50\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **850.** $n = \frac{l}{\Delta r} - 1 = 4$. **851.** $\Delta r = 50$ см.

22. Механическая работа

853. $A = 0{,}90$ кДж. **854.** $F = 60$ Н. **855.** $h = 35$ м. **856.** В 2 раза.
859. $A = 1{,}8$ кДж. **860.** $A_{\text{упр}} = 0{,}39$ Дж; $A_{\text{т}} = -0{,}39$ Дж. **861.** $A = -10$ Дж.

862. $v_0 = \sqrt{\frac{2\left(mgh - A\right)}{m}} = 20\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **863.** $A = 2\cdot 10^9$ Дж. **865.** в) $F_{\text{т}} = 12$ Н;
д) $A_{\text{тр}} = -4{,}0$ Дж; е) $A_{\text{р}} = 2{,}0$ Дж. **866.** в) $F_{\text{упр}} = 2{,}0$ Н; г) $F_{\text{т}} = 1{,}5$ Н;
е) $F_{\text{р}} = 0{,}5$ Н; ж) $A_{\text{р}} = 1{,}0$ Дж. **867.** $\Delta r = 30$ м; $A_{\text{тр}} = -4{,}5$ кДж; $A_{\text{т}} = 0$;
$A_{\text{р}} = 0$. **868.** $A = 6{,}9$ Дж; $A_{\text{р}} = 0{,}90$ Дж. **869.** $t = 2{,}0$ с.

870. $F = \frac{\sqrt{2Am}}{t} = 3{,}5$ кН. **871.** $A_{\min} = 0{,}42$ кДж. **873.** В 3 раза.
874. $A_{\text{с}} = -40$ Дж. **875.** $A = 21$ Дж. **876.** $A = 3{,}0$ Дж. **877.** $A = -0{,}10$ Дж.
878. $A_{\text{р}} = 0{,}20$ Дж; $A_{\text{тр}} = -2{,}3$ Дж; $A = 2{,}5$ Дж. **879.** $A_{\text{т}} = 5{,}0$ Дж;
$A_{\text{тр}} = -1{,}7$ Дж; $A_{\text{упр}} = 0$ Дж; $A_{\text{р}} = 3{,}3$ Дж. **880.** $A = \frac{Fhmg}{F - ma} = 0{,}10$ кДж.

881. $A_{\text{тр}} = -\mu mg\sqrt{\Delta r^2 - h^2} = -0{,}32$ кДж. **882.** $A = \frac{\mu mgs\cdot\cos\alpha}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha} = 8$ Дж.

883. $A_1 = \frac{F_1^2\Delta r}{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}} = 0{,}18$ кДж; $A_2 = \frac{F_2^2\Delta r}{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}} = 0{,}32$ кДж.
884. а) $A = 0{,}16$ Дж; б) $A = 0{,}10$ Дж; в) $A = 45$ мДж.

885. $A = -\frac{\mu mgl}{2} = -20$ Дж. **886.** $A_{\min} = \frac{2m^2 g}{\rho\pi d^2} = 0{,}52$ кДж.

887. а) $A_{\min} = \frac{a^4 g\left(\rho - \rho_0\right)^2}{2\rho_0}$; б) $A_{\min} = \frac{a^4 g\rho^2}{2\rho_0}$. **888.** $A = \frac{k\Delta r^2}{2} = 2{,}0$ Дж.

889. $A = \mu mgl + \frac{kl^2}{2} = 8{,}0$ Дж. **890.** В $\frac{2l - l_0}{l_0} = 5$ раз.

23. Мощность

893. $P = 20$ кВт. **894.** $A = 8{,}5$ кДж. **895.** $t = 7{,}0$ с. **896.** $\langle P_{\text{о}}\rangle = \langle P_{\text{с}}\rangle$.
897. $F_{\text{т}} = 10{,}5$ кН. **898.** $P = 26$ кВт. **899.** В 5 раз. **904.** $P = \frac{4ms^2}{t^3} = 80$ кВт.

© MICHAEL GAUTIER

905. $\langle P\rangle = \left(m\dfrac{v^2}{2l} + F_c\right)\dfrac{v}{2}$. **906.** $\langle P\rangle = 0{,}15$ кВт. **907.** $\langle P\rangle = 45$ Вт.

908. $A = 30$ кДж. **909.** В 3 раза. **911.** $p = \dfrac{Pl}{g\left(\mu\sqrt{l^2 - h^2} + h\right)} = 0{,}10\ \dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$.

912. $P = \dfrac{\mu mgv}{1 + \mu\,\mathrm{tg}\,\alpha} = 24$ Вт. **913.** $v = \dfrac{2v_1v_2\cos\alpha}{v_1 + v_2}$.

914. $F = \dfrac{\eta P}{v\cdot 100\ \%} = 4{,}8$ кН. **915.** $\eta = 98\ \%$. **916.** $\eta = 80\ \%$.

917. $P = 60$ Вт. **918.** $\eta = 98\ \%$. **919.** $P = \dfrac{\eta\rho Vgh}{t\cdot 100\ \%} = 21$ МВт.

920. $A_{\text{пол}} = 5{,}4$ кДж.

24. Потенциальная энергия

922. а) $E_\text{п} = 3{,}0$ Дж; б) $E_\text{п} = 0$; в) $E_\text{п} = -9{,}0$ Дж. **923.** $h = 5{,}0$ м.

924. $\Delta E_\text{п} = -24$ кДж. **925.** $\Delta E_\text{п} = 0{,}90$ кДж. **926.** $n = 4{,}5$ раза.

927. $E_{\text{п}1} = 0{,}34$ кДж; $E_{\text{п}2} = 68$ Дж. **928.** $\dfrac{E_\text{п}}{E_\text{к}} = 4$. **931.** $m_\text{л} = 900$ кг;

$m_\text{п} = 300$ кг. **933.** $E_\text{п} = 5{,}0$ Дж. **934.** $l = 60$ см. **935.** $E_\text{п} = 98$ мДж.

936. $m_2 = 0{,}2$ кг. **938.** $E_{\text{п}1} = \dfrac{k_1k_2^2\Delta l^2}{2\left(k_1 + k_2\right)^2} = 2{,}0$ Дж. **940.** $A = 0{,}28$ МДж;

$\Delta E = -0{,}28$ МДж. **941.** $A = 9{,}8$ МДж. **942.** $A_{\min} = 75$ Дж.

943. $A_{\min} = 4{,}0$ Дж. **944.** $A_{\min} = \dfrac{3}{8}\rho gh^2S = 0{,}15$ МДж. **945.** $A_{\min} = 60$ кДж.

946. $A = \dfrac{\rho Sgh^2}{16} = 0{,}96$ Дж. **947.** $A_{\min} = \dfrac{mg}{2}\left(\sqrt{h^2 + d^2} - h\right) = 90$ мДж.

948. $A_{\min} = 3mgh = 0{,}48$ кДж. **949.** $A = \dfrac{\left(\mu mg\right)^2}{2k} = 0{,}10$ Дж.

950. $A = F\Delta l_2 + \dfrac{F\Delta l_2^2}{2\Delta l_1} = 8$ Дж. **951.** $A = \dfrac{3F^2}{8k} = 0{,}15$ Дж.

952. $A_{\min} = mgh + \dfrac{\left(mg\right)^2}{2k} = 0{,}15$ кДж. **953.** $A = \dfrac{49}{40}mgl$.

25. Кинетическая энергия

955. $E_\text{к} = 0{,}45$ Дж. **956.** $m = 0{,}25$ т. **957.** $v = 17\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **958.** а) $E_\text{л} = E_\text{к}$;

б) $E_\text{л} < E_\text{к}$. **959.** $E_\text{к} = 7{,}2$ мДж. **960.** $m = 0{,}20$ кг.

© MICHAEL GAUTIER

961. $\Delta p = \dfrac{2\Delta E_к}{v - v_0} = 2{,}0\ \dfrac{кг \cdot м}{с}$. **962.** $E_к = 0{,}64$ Дж. **963.** $F_р = \dfrac{2E_к}{R} = 0{,}32$ Н.

964. $E_к = 32$ Дж; $t_{min} = 3{,}0$ с. **965.** $E_к = 4{,}0$ мДж; $t_2 = 2{,}5$ с. **966.** $t = 4$ с.

967. $E_к = \dfrac{mgl \sin\alpha \operatorname{tg}\alpha}{2} = 0{,}30$ Дж. **968.** $t = \dfrac{v_0}{g} = 1{,}0$ с. **969.** $E_{к2} = 4{,}8$ мДж.

970. $E_к = \dfrac{mgR(2\cos\alpha - 1)}{2} = 0{,}55$ МДж. **971.** $A_р = -0{,}27$ Дж.

972. $E_к = F\Delta r = 4$ Дж. **973.** $E_к = \dfrac{mg^2t^2}{4} = 5{,}0$ Дж. **977.** В $\sqrt{n}$ раз.

978. В 4 раза. **979.** $A = -1{,}2$ кДж. **980.** $l_2 = 60$ см. **981.** В шестой.

982. $s_2 = \dfrac{v_0^2}{2\mu g} - s_1 = 8$ м.

983. $E_к = \dfrac{m}{2} g(2\sqrt{l^2 - h^2} - \mu\sqrt{l^2 - h^2} - h - 2\mu h) = 1{,}5$ Дж.

984. $v_0 = \dfrac{\sqrt{3\mu g l}}{2} = 0{,}75\ \dfrac{м}{с}$. **985.** $l = \dfrac{v_0^2}{\mu g} = 0{,}5$ м. **986.** $v_0 = \sqrt{3l\mu g} = 1{,}8\ \dfrac{м}{с}$.

26. Закон сохранения механической энергии

987. В 2 раза. **988.** В 4 раза. **989.** $v_{min} = 6{,}0\ \dfrac{м}{с}$. **990.** а) $h_{max} = 20$ м;
б) $h_1 = 10$ м; в) $h_2 = 16$ м; г) $v = 10\ \dfrac{м}{с}$. **991.** $h_1 = 25$ м; $E_{к2} = 0{,}21$ кДж.

994. $E = 0{,}10$ Дж; $E_к = 64$ мДж; $E_п = 36$ мДж. **995.** $v_{0min} = \sqrt{2gl} = 2{,}0\ \dfrac{м}{с}$.

996. а) $v_1 = \sqrt{4gl}$; б) $v_2 = \sqrt{5gl}$. **997.** $v = \sqrt{\dfrac{gl(m_2 - m_1)}{m_1 + m_2}} = 2\ \dfrac{м}{с}$.

998. $F_{упр} = 5mg = 10$ Н. **999.** $v_{min} = \sqrt{\dfrac{16gl}{15}} = 4{,}0\ \dfrac{м}{с}$. **1000.** $v_1 = 2\sqrt{\dfrac{3gl}{5}}$;
$v_2 = \sqrt{\dfrac{3gl}{5}}$. **1001.** $v = \sqrt{\dfrac{gl(2m_1 + m_2)}{m_1 + m_2}} = 3{,}5\ \dfrac{м}{с}$. **1002.** $v = \sqrt{\dfrac{gl(2m_2 + m_1)}{2(m_1 + m_2)}}$.

1003. $\Delta l_{max} = 0{,}1$ м. **1004.** а) Увеличится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза;
в) уменьшится в 2 раза. **1005.** $\Delta l_{max} = \dfrac{2mg}{k} = 10$ см.

1006. $k = \dfrac{2mg(h + \Delta l_{max})}{(\Delta l_{max})^2} = 0{,}60\ \dfrac{кН}{м}$. **1007.** $(E_к)_{max} = mgh + \dfrac{m^2g^2}{2k}$.

1008. $v_0 = l\sqrt{\dfrac{k}{m}} = 1\ \dfrac{м}{с}$. **1009.** $h_{1min} = \dfrac{3}{2}h$; $h_{2min} = \dfrac{4}{3}h$.

© MICHAEL GAUTIER

1010. $h_{\max} = \dfrac{v_0^2}{2g} + \dfrac{mg}{2k} = 82$ мм. **1011.** а) $v_{\max} = 3{,}0\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$;

б) $v_{\max} = \sqrt{2gl\left(1 - \cos\alpha\right)} = 4{,}0\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **1012.** $F_{\text{н}} = 3mg\cos\alpha = 3{,}0$ Н.

1013. $\alpha = \arccos\left(\dfrac{3}{n+2}\right) = 60°$. **1014.** В 3 раза. **1015.** $\dfrac{F_{\text{н}}}{F_{\text{в}}} = 5$. **1016.** $h = \dfrac{5R}{3}$;

$F\left(\alpha\right) = 3mg\cos\alpha - 2mg$, где $\alpha < \arccos\dfrac{2}{3}$. **1017.** а) $h_1 = \dfrac{5}{2}R = 50$ см;

б) $h_2 = \dfrac{3}{2}R = 30$ см. **1018.** $\Delta l_1 = \dfrac{3mg}{k}$. **1019.** $h_{\max} = \dfrac{v^2 n\left(n-1\right)}{2g} = 1{,}5$ м.

1020. $v_2 = \sqrt{\dfrac{2ghm_1}{m_1 + m_2}} = 4\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **1021.** $E_{\text{п}} = \dfrac{m_1 m_2 {v_0}^2}{2\left(m_1 + m_2\right)}$.

1022. $h_{\max} = \dfrac{m_1 R}{m_1 + m_2} = 38$ см. **1023.** $h_{\max} = \dfrac{{m_1}^2 H}{\left(m_1 + m_2\right)^2} = 32$ см .

1024. В $\dfrac{5}{3}$ раза. **1025.** $u_1 = \dfrac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}v_1 = 2\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; $u_2 = \dfrac{2m_1}{m_1 + m_2}v_1 = 8\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

1026. $m_1 = \dfrac{m_2}{3} = 0{,}2$ кг. **1027.** $h_{\max} = \dfrac{16}{25}l = 32$ см. **1028.** $m_2 = \dfrac{5m_1}{3} = 5{,}0$ кг.

1029. $M = 3$ кг. **1030.** $E_{\text{к}1} = \dfrac{E_{\text{п}} m_2}{m_1 + m_2} = 18$ Дж; $E_{\text{к}2} = \dfrac{E_{\text{п}} m_1}{m_1 + m_2} = 72$ Дж.

1031. $\Delta l_2 = \Delta l_1\sqrt{\dfrac{m_2}{m_1 + m_2}} = 56$ мм. **1032.** $v_{2\max} = \dfrac{2m_1}{m_1 + m_2}v_1 = 4{,}0\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

1033. $\Delta l_{\max} = \dfrac{2m_0 v_0}{m_1 + m_2}\sqrt{\dfrac{m_1 m_2}{k\left(m_1 + m_2\right)}} = 12$ см.

1034. $E_{\max} = \dfrac{m\left(v_1 + v_2\right)^2}{4} = 90$ Дж.

27. Изменение механической энергии

1035. $A = -0{,}75$ кДж. **1036.** $A = -3{,}6$ Дж. **1037.** $v_0 = 6\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **1038.** В 4 раза.

1039. $E_{\text{к}} = 6$ Дж. **1040.** $h_2 = \dfrac{h_1\left(\operatorname{tg}\alpha - \mu\right)}{\operatorname{tg}\alpha + \mu} = 60$ см. **1041.** $v_0 = 12\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

1042. $s = \dfrac{h}{\mu} - l = 50$ м. **1043.** $v_{\min} = \mu g\sqrt{\dfrac{8m}{k}} = 2{,}0\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

1044. $l = \dfrac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot \dfrac{v^2}{2F_{\text{с}}}$.

© MICHAEL GAUTIER

1045. $v_0 = \dfrac{\sqrt{k\Delta l^2\left(m+m_0\right)+2\mu g\left|\Delta l\right|\left(m+m_0\right)^2}}{m_0} = 0{,}10\ \dfrac{\text{км}}{\text{с}}$.

1046. $v_0 = 2g\sqrt{\dfrac{2\mu^2 m\left(1-\sin^2\alpha\right)}{k} - \dfrac{2\mu m\sin\alpha\sqrt{1-\sin^2\alpha}}{k}} = 0{,}4\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

1047. $\left\langle F_{\text{с}}\right\rangle = mg\left(1+\dfrac{H}{h}\right)+\dfrac{m{v_0}^2}{2h}$. **1048.** $v_0 = \mu g\sqrt{\dfrac{3m}{k}} = 1\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

1049. $\Delta l_1 = \dfrac{g}{k}\left(2\mu_1 m_1+\mu_2 m_2\right) = 9$ см. **1050.** $v_0 = \sqrt{\dfrac{5\mu g l}{2}} = 5\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

1051. $A = mg(2{,}5R-h) = -0{,}02$ Дж. **1052.** $Q = 1$ Дж.

1053. $Q = 0{,}2$ Дж. **1054.** $Q = 9{,}0$ Дж. **1055.** $Q = 25$ Дж.

1056. $Q = \dfrac{m_1 m_2}{m_1+m_2}\cdot\dfrac{\left(v_1+v_2\right)^2}{2} = 3$ Дж. **1057.** $Q = \dfrac{m_1 m_2\left(v_1^2+v_2^2\right)}{2\left(m_1+m_2\right)}$.

1058. $Q = 0{,}5E_{\text{к}}$. **1059.** $Q = \dfrac{1}{6}E_{\text{к}}$. **1060.** $Q = 0{,}75E$. **1061.** $\Delta t = \dfrac{\left(v_1+v_2\right)^2}{8c}$.

1062. $Q = \dfrac{3p^2}{16m}$. **1063.** $Q = 0{,}15$ кДж. **1064.** $v_{\min} = \dfrac{m+m_0}{m}\sqrt{5gl} = 0{,}13\ \dfrac{\text{км}}{\text{с}}$.

1065. $v = \sqrt{2gh}\left(1+\dfrac{m_1}{m_2}\right) = 142\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **1066.** $h_{\max} = \dfrac{h_1}{\left(n+1\right)^2} = 8{,}0$ см.

1067. $\Delta l_{\max} = \dfrac{m_0 v_0}{\sqrt{k\left(m+m_0\right)}} = 5{,}0$ см. **1068.** $h = \dfrac{\left(m_0 v_0\right)^2}{3g\left(m+m_0\right)^2}+\dfrac{2R}{3} = 0{,}80$ м.

1069. а) $\Delta l_{\max} = 6$ см; $v_{\max} = \dfrac{F}{\sqrt{mk}} = 0{,}6\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\Delta l_{\max} = 4$ см;

$v_{\max} = \dfrac{F-\mu mg}{\sqrt{mk}} = 0{,}4\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. **1070.** а) $F_{\min} = \mu\left(m_1+\dfrac{m_2}{2}\right)g = 14$ Н;

б) $F_{\min} = \mu_1 m_1 g+\dfrac{\mu_2 m_2 g}{2} = 12$ Н.

1071. $A = \dfrac{m_2{v_2}^2}{2}\left(1-\dfrac{m_2\cos^2\alpha}{m_1+m_2}\right) = 0{,}29$ кДж.

1072. $E = \dfrac{m_1 m_2}{m_1+m_2}\cdot\dfrac{v_1^2+v_2^2-2v_1 v_2\cos\alpha}{2} = 65$ кДж.

1073. $Q = \dfrac{\mu mgh}{\operatorname{tg}\alpha} = 60$ Дж. **1074.** $\Delta r_{\max} = \dfrac{2F}{k} = 0{,}40$ м; $v_{\max} = 2{,}0\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

1075. $h_{\max} = \dfrac{2F}{k} = 4$ см. **1076.** $A = mgl\left(\dfrac{1}{2}\sin\alpha\operatorname{tg}\alpha+\cos\alpha\right) = 0{,}50$ Дж.

1077. $A = \dfrac{kl_0^2\left(k+m\omega^2\right)m\omega^2}{2\left(k-m\omega^2\right)^2}$. **1078.** $k = \dfrac{2A}{\left(x_2-x_1\right)^2} = 1{,}5\ \dfrac{\text{кН}}{\text{м}}$.

© MICHAEL GAUTIER